

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개(), 발간등록번호(○)

첨단생산기술개발사업 최종보고서

11-1543000-002543-01

농지범용화를 위한 스마트 토양수분제어 실용화기술 개발 최종보고서

2019.03.13.

주관연구기관 / (주)수리이엔씨
협동연구기관 / 서울대학교

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농지범용화를 위한 스마트 토양수분제어 실용화기술 개발”(개발기간 : 2016.09.05. ~ 2018.12.31.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 3. 13.

주관연구기관명 : (주)수리이엔씨 (대표자) 정종구 (인)

협동연구기관명 : 서울대학교 산학협력단 (대표자) 윤의준 (인)



주관연구책임자 : 강재원

협동연구책임자 : 김성필

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라
보고서 열람에 동의합니다.

< 보고서 요약서 >

| | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------|---|
| 과제고유번호 | 116051-03 | 해당단계 연구기간 | 3 | 단계구분 | 3/3(총단계) |
| 연구사업명 | 단위사업 | 농식품기술개발사업 | | | |
| | 사업명 | 첨단생산기술개발사업 | | | |
| 연구과제명 | 대과제명 | (해당 없음) | | | |
| | 세부 과제명 | 농지범용화를 위한 스마트 토양수분제어 실용화기술 개발 | | | |
| 연구책임자 | 강재원 | 해당단계 참여연구원 수 | 총: 19명 내부: 19명 외부: 0명 | 해당단계 연구개발비 | 정부:300,000천원 민간:100,000천원 계:400,000천원 |
| | | 총 연구기간 참여연구원 수 | 총: 53명 내부: 53명 외부: 0명 | 총 연구개발비 | 정부:700,000천원 민간:234,000천원 계:934,000천원 |
| 연구기관명 및 소속부서명 | (주)수리이앤씨 | | | 참여기업명:서울대학교 산학협력단 | |
| 국제공동연구 | | | | | |
| 위탁연구 | | | | | |

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

| | |
|-----------------------|--|
| 연구개발성과의 보 안등급 및 사유 | 일반 : 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의4에 해당하지 않음 |
|-----------------------|--|

9대 성과 등록·기탁번호

| 구분 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구시 설·장비 | 기술요약 정보 | 소프트 웨어 | 화합물 | 생명자원 | | 신품종 | |
|--------------|----|----|-----------|-------------|------------|-----------|-----|----------|----------|-----|----|
| | | | | | | | | 생명 정보 | 생물 자원 | 정보 | 실물 |
| 등록· 기탁 번호 | | | | | | | | | | | |

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

| 구입기관 | 연구시설· 장비명 | 규격 (모델명) | 수량 | 구입연월일 | 구입가격 (천원) | 구입처 (전화) | 비고 (설치장소) | NTIS 등록번호 |
|------|--------------|-------------|----|-------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

| | |
|---|------------|
| 요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다) | 보고서 면수:268 |
|---|------------|

< 요약문 >

| | | | | | |
|---------------------------|---|---------------|------------|----------|---------------|
| 연구의 목적 및 내용 | <p>농지범용화를 위한 스마트 토양수분 관리기술과 현장 센서를 포함한 제어장치 및 스마트 제어시스템 개발 및 실용화 전략 수립</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 범용농지 맞춤형 토양수분 제어 및 운영기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 범용농지 맞춤형 지상관개시스템 설계 및 지하배수암거 설계 기술 개발 - 범용농지 맞춤형 토양수분 변화 예측 및 최적 토양수분 관리 기술 ○ 범용농지 적용 스마트 토양수분관리 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 범용농지 적용을 위한 무선통신 일체형 토양수분 센서-통신 노드 개발 - 범용농지 적용을 위한 농업인 활용 일체형 관개 및 배수 제어시스템 개발 - 범용농지 맞춤형 토양수분 제어 스마트 폰 어플리케이션 개발 ○ 테스트베드 설치 및 적용성 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 농지 범용화 사업 대상지 발굴 - 농지범용화를 위한 스마트 토양수분 테스트베드 구축 - 지상관개 및 지하수위 변동에 따른 토양함수비 변화 모니터링 - 토양수분 관리 수준에 따른 작물 생육 및 수확량 평가 - 스마트 토양수분 제어 기술에 의한 테스트베드 운영 및 적용성 평가 | | | | |
| 연구개발성과 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 범용농지 맞춤형 토양수분 제어 및 운영기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 범용농지 맞춤형 지상관개시스템 설계 및 지하배수암거 설계 기술 적용 - 기상청 기상예보 자료 연계 범용농지 맞춤형 토양수분 변화 예측 및 최적 토양수분 관리 기술 개발 - 스마트 토양수분 관리를 위한 3가지 제어모드 구축 ○ 범용농지 적용 스마트 토양수분관리 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 범용농지 적용을 위한 무선통신 일체형 토양수분 센서-통신 노드 개발 - 범용농지 적용을 위한 농업인 활용 일체형 관개 및 배수 제어시스템 개발 - 스마트 토양수분 관리를 위한 3가지 제어모드 별 관개 및 배수제어 시스템 개발 - 범용농지 맞춤형 3가지 제어모드에 적합한 토양수분 제어 스마트 폰 어플리케이션 개발 ○ 테스트베드 설치 및 적용성 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 농지 범용화 사업 대상지 발굴 및 농지범용화를 위한 스마트 토양수분 테스트베드 구축 - 지상관개 및 지하수위 변동에 따른 토양함수비 변화 모니터링 및 분석 - 토양수분 관리 수준에 따른 작물 생육 및 수확량 평가 - 스마트 토양수분 제어 기술에 의한 테스트베드 운영 및 적용성 평가 - 범용농지 맞춤형 토양수분 제어에 따른 경제성 평가 ○ 2건의 특허 및 SCI 2편 등 개량 성과 도출 | | | | |
| 연구개발성과의 활용계획 (기대효과) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농지의 다각적 활용을 위한 농지범용화 및 논의 밭작물재배사업의 지원 ○ 습해 및 가뭄피해에 의한 영농손실 방지 ○ 농업인 고령화에 따른 노동력 절감 및 스마트 농법 지원 ○ 귀농 귀촌인에 대한 농업기술 지원 | | | | |
| 국문핵심어 (5개 이내) | 농지 범용화 | 토양수분 | 관개 | 배수 | 스마트제어 |
| 영문핵심어 (5개 이내) | Multipurpose Farmland | Soil Moisture | Irrigation | Drainage | Smart Control |

< 목 차 >

| | |
|---------------------------------|-----|
| 제1장 연구개발과제의 개요 | 1 |
| 제1절 연구 배경 및 필요성 | 1 |
| 제2절 연구개발의 목표 및 내용 | 6 |
| 제3절 연구 추진방법 및 체계 | 9 |
| | |
| 제2장 연구수행 내용 및 결과 | 12 |
| 제1절 농지범용화 현황 및 적지분석 | 19 |
| 제2절 스마트 토양수분제어 테스트베드 구축 | 73 |
| 제3절 스마트 토양수분 제어기술 개발 | 105 |
| 제4절 스마트 토양수분 제어시스템 개발 | 184 |
| 제5절 스마트 토양수분 제어시스템 적용성 분석 | 236 |
| 제6절 요약 및 결론 | 252 |
| | |
| 제3장 목표달성도 및 관련 분야 기여도 | 255 |
| 제1절 목표 및 달성도 | 255 |
| 제2절 관련분야 기여도 | 256 |
| | |
| 제4장 연구결과의 활용 계획 | 258 |
| 제1절 활용계획 일반사항 | 258 |
| 제2절 연구 기대성과 및 활용방안 | 258 |
| | |
| 붙임. 참고문헌 | 260 |

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구 배경 및 필요성

1. 연구의 배경

2014년 국내의 농경지는 전체 국토면적 10,028천ha 중 약 16.8%인 1,691천ha를 차지하며 나머지는 산림이 6,369천ha로 63.5%를 차지하며 나머지 기타 면적이 1,968천ha를 차지하고 있다. 이중 논이 934천ha, 밭이 757천ha를 차지하고 있다. 국토면적은 간척사업 등으로 꾸준하게 증가하였으나 국토 중 농경지의 비율은 지속적으로 감소하고 있는 추세이다.

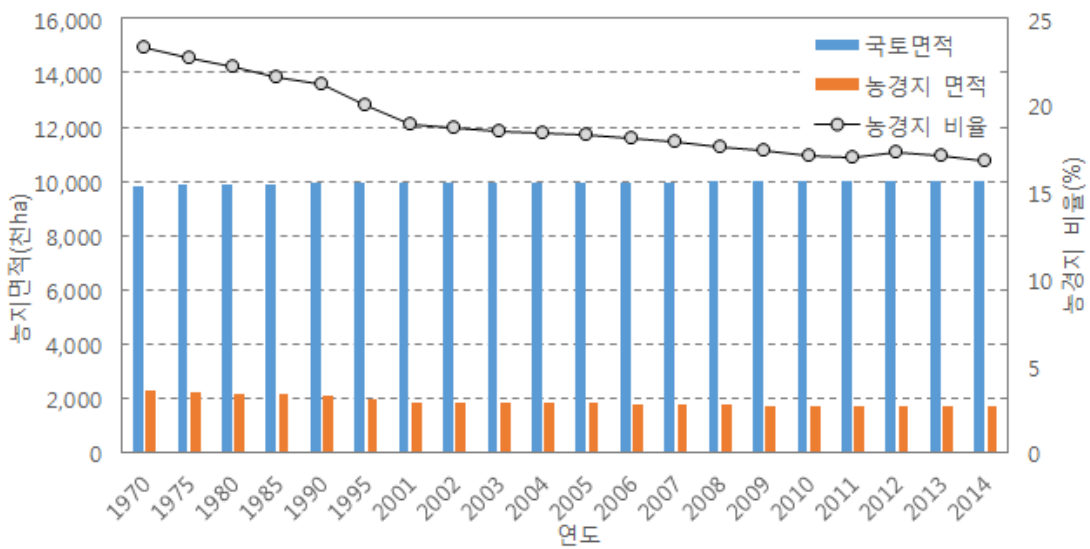


그림 1.1.1 국토 및 농경지 면적의 변화

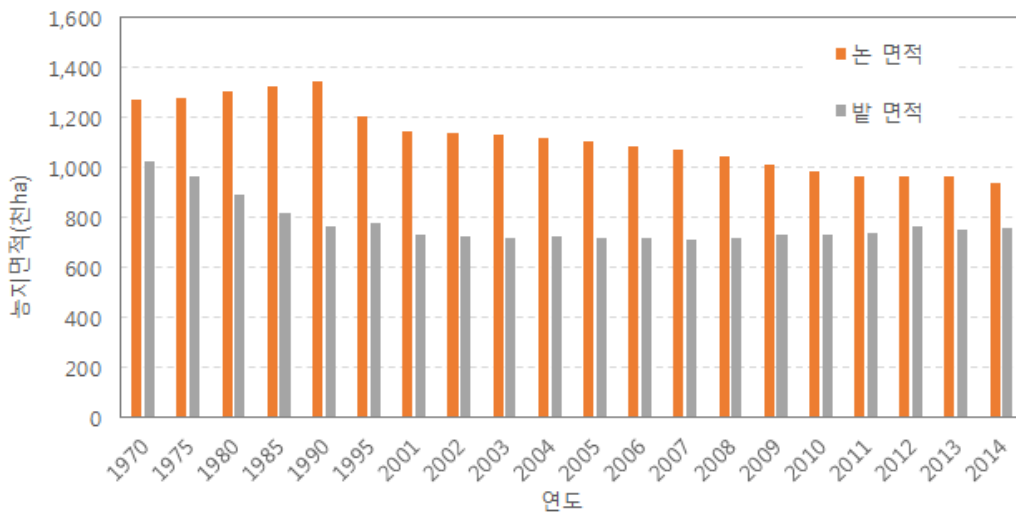


그림 1.1.2 논 및 밭 면적 변화

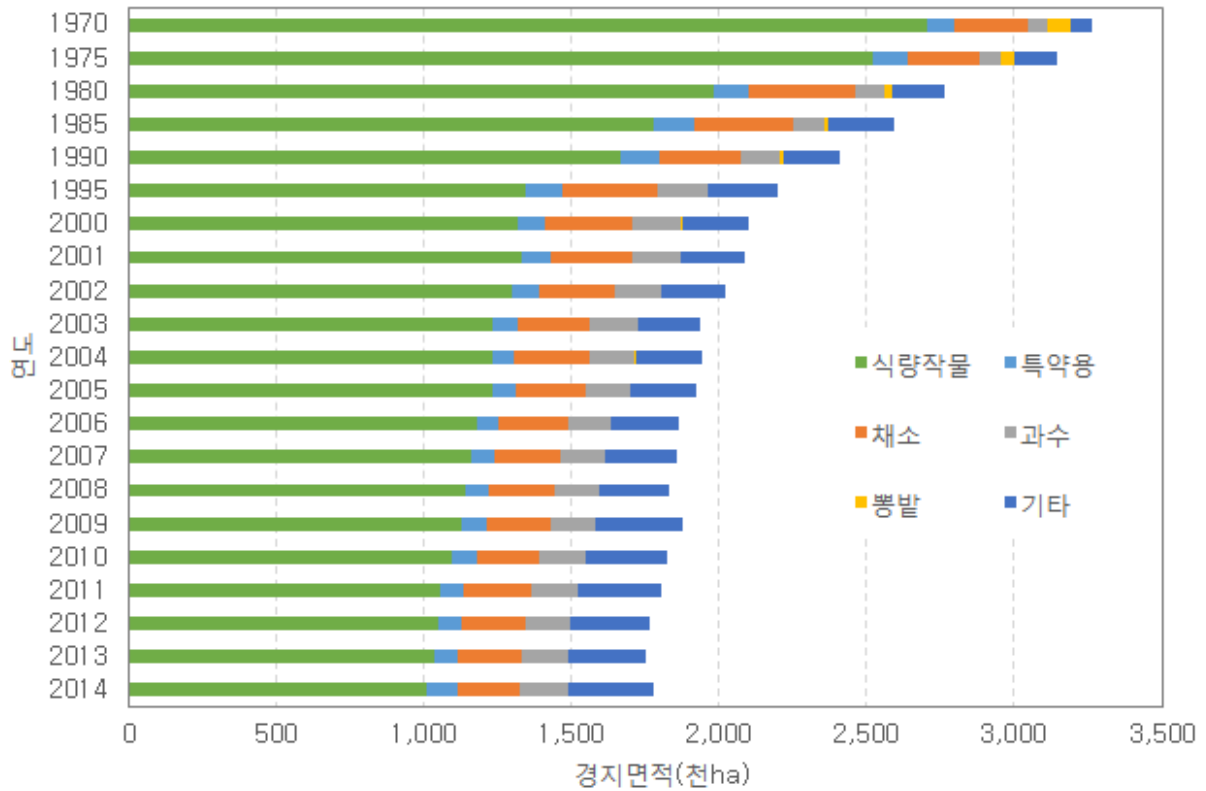


그림 1.1.3 주요 작물별 경지면적 변화

논의 면적은 1990년까지 증가하다가 이후 지속적으로 감소하는 추세이며 반대로 밭 면적은 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 이는 최근 쌀 소비 감소와 밭작물의 단위면적당 수익성 증가가 원인으로 판단된다. 경지면적 중 반 이상은 식량작물의 재배하며 다음으로 채소 재배 경지가 가장 많은 것으로 나타났다.

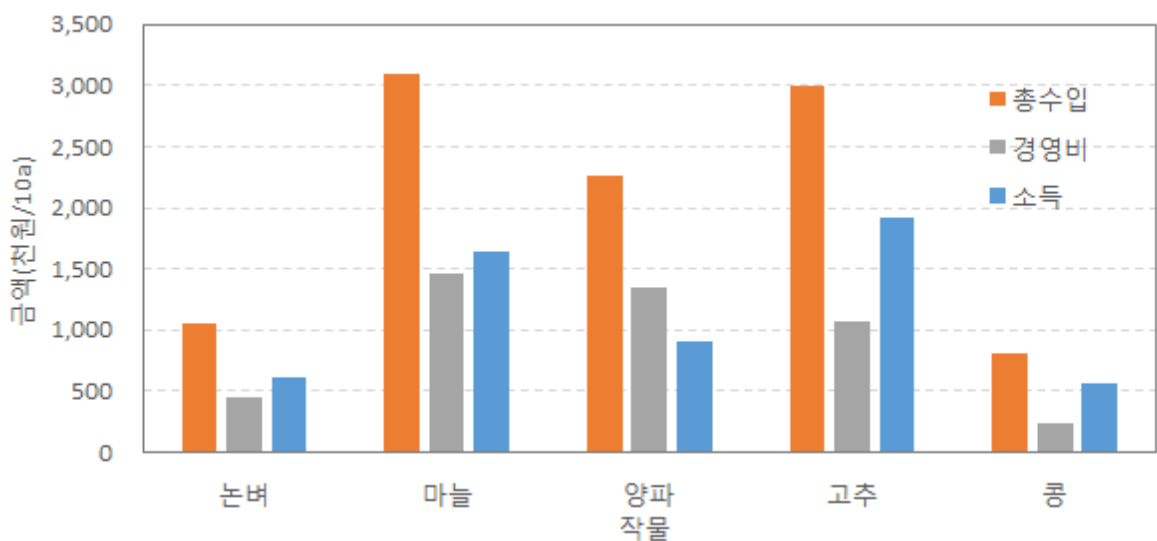


그림 1.1.4 주요작물의 소득

전체적으로 경지면적이 감소하는 중에서 1990년 이후 밭 면적이 증가하고 채소 및 과수 경지면적이 유지되고 있는 것은 상대적으로 논에 비하여 밭에서 보다 많은 소득이 발생하고 있기 때문으로 보인다.

한편, 우리나라의 곡물 자급률을 보면 1970년에는 80.5 %로 비교적 높은 수준의 자급률을 보이고 있으나 1980년에는 56 %, 1990년에 43 %, 2000년에 30 %, 2014년에는 24 %로 떨어져 점점 자급률이 떨어지고 있음을 알 수 있다. 다만 주곡인 쌀의 자급률은 그동안 생산기반정비 및 품종개량에 대한 꾸준한 노력과 투자로 생산량이 증가하고 국민 식생활이 변화함에 따라 1990년대 이후에는 100 %이상의 자급률을 달성하였으나 쌀을 제외한 타 작물의 자급률은 오히려 2010년 이후 5 %대로 급격히 떨어지고 있다. 쌀을 제외한 타 작물의 자급률을 증가시키기 위해서는 논외 농지화가 필수적이며, 해당 농지의 생산성을 향상시키기 위해서는 기존 논토양에서 밭작물을 재배 시 자주 발생하는 습해의 제어가 필수적이다.

표 1.1.1 우리나라의 연도별 주요 곡물 자급률 (단위: %)

| 구분 | 합계 | 쌀 | 보리쌀 | 밀 | 옥수수 | 두류 | 서류 | 기타 |
|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 1970 | 80.5 | 93.1 | 106.3 | 15.4 | 18.9 | 86.1 | 100 | 96.9 |
| 1980 | 56 | 95.1 | 57.6 | 4.8 | 5.9 | 35.1 | 100 | 89.8 |
| 1990 | 43.1 | 108.3 | 97.4 | 0.05 | 1.9 | 20.1 | 95.6 | 13.9 |
| 2000 | 29.7 | 102.9 | 46.9 | 0.1 | 0.9 | 6.4 | 99.3 | 5.2 |
| 2010 | 27.6 | 104.6 | 25.1 | 0.9 | 0.9 | 10.1 | 98.7 | 9.7 |
| 2011 | 24.3 | 83.1 | 22.3 | 1 | 0.9 | 7.9 | 96.9 | 9.1 |
| 2012 | 23.6 | 86.6 | 16.4 | 0.7 | 0.9 | 10.4 | 95.8 | 10.1 |
| 2013 | 23.1 | 89.2 | 20.1 | 0.5 | 1 | 9.7 | 96.3 | 11 |
| 2014 | 24 | 95.7 | 24.8 | 0.7 | 0.8 | 11.3 | 96.1 | 11.3 |

※ 농림축산식품부, 2014, 농림수산식품 주요통계 1970-2011

※ 농림축산식품부, 2014, 농림수산식품 통계연보 2012-2013

※ 통계청, 2014 통계자료

논에 밭작물을 재배하는 경우 토양의 특성이 다른 관계로 어려움을 겪기도 하지만 배수불량에 의한 피해가 발생하는 경우가 많으며, 논농사에 익숙한 경우 밭작물에 대한 토양수분 관리가 어려운 경우가 많이 발생하고 있다.



그림 1.1.5 신안군 시금치 습해(2014년)



그림 1.1.6 창녕군 양파 습해(2015년)

우리나라 농업 인구의 감소 및 고령화추세는 뚜렷하여 ‘2014년 농림어업조사 결과’에 따르면 농가 고령화율은 2014년 12월 기준 39.1%로 전년보다 1.8 %포인트 높아졌다. 고령화율은 2010년 31.8 %에서 매년 2 % 포인트 가량씩 빠르게 높아지고 있고 전체 인구 고령화율(12.7 %)의 3배를 넘는 수치이다. 농가 경영주 평균연령도 2014년 66.5세며, 고령인구 기준인 65세를 넘어선 2013년보다 1.1세 높아져서 농가 경영주의 39.7 %는 70세 이상, 60대 29.5 %, 50대 22.5 % 등 이다. 즉, 논에서의 밭작물 재배시 농지 및 노동생산성을 향상시키기 위해서는 토양수분의 스마트 제어가 필수적이며, 본 연구에서는 이를 위한 계측 및 제어 기술 개발과 함께 농업인이 활용가능한 일체형 제어시스템 및 원격 제어가 가능한 앱 어플리케이션을 개발하고자 한다.

2. 연구의 필요성

일본의 경우 농지를 논과 밭으로 자유롭게 사용할 수 있는 의미로 범용농지 기술을 개발하고 활용하고 있는데 현재 전체 논 면적 247만 ha 중 2012년 기준 107만 ha가 범용농지로 조성되었다. 일본의 농지 범용화 기술은 작부체계의 유사성으로 국내에서 활용에 대한 시사점이 큰 기술로 논과 밭으로 사용할 경우 관개 및 배수의 조절기술로 요약할 수 있으며 대표적으로 FOEAS 시스템을 들 수 있다. FOEAS는 배수불량에 따른 피해를 방지하기 위하여 지하배수 및 지하관개기술을 결합한 시스템이다. 전반적인 농지면적의 변화양상과 농업 노동인구의 고령화에 따른 농업 경쟁력의 약화 및 농가소득 정체 그리고 농업에 큰 영향을 미치는 한반도 기상 이변 등의 문제점을 타개하기 위한 노력의 일환으로 Information & Communication Technology(ICT) 기반 스마트 농업 기술 도입이 추진되고 있다.

비록 농업+ICT 융합 기술은 타 산업보다 아직 초보적인 단계에 머물러 있지만, 최근 가장 활발한 연구개발이 추진되고 있는 분야를 스마트팜으로 볼 수 있다. ICT 융합과 관련한 스마트팜 연구개발은 시설원예를 중심으로 농림축산식품부와 산업통상자원부, 농촌진흥청이 주도하고 주로 자동제어와 환경위치정보, 생육정보 등을 중심으로 진행되고 있으나 국내 스마트팜 관련 기술수준은 최고 기술보유국 대비 70% 수준으로 기술적 차이는 약 6년 내외로 나타나고 있다. 농산물 유통 등에서도 ICT를 접목한 사업이 확대 추진 중이나 아직 초기단계로 현장 활용도가 낮은 상황으로 평가되고 있고, 최적생육 모델 등의 알고리즘은 연구 추진 중으로 현장에서 활용은 아직 미미한 실정이다.

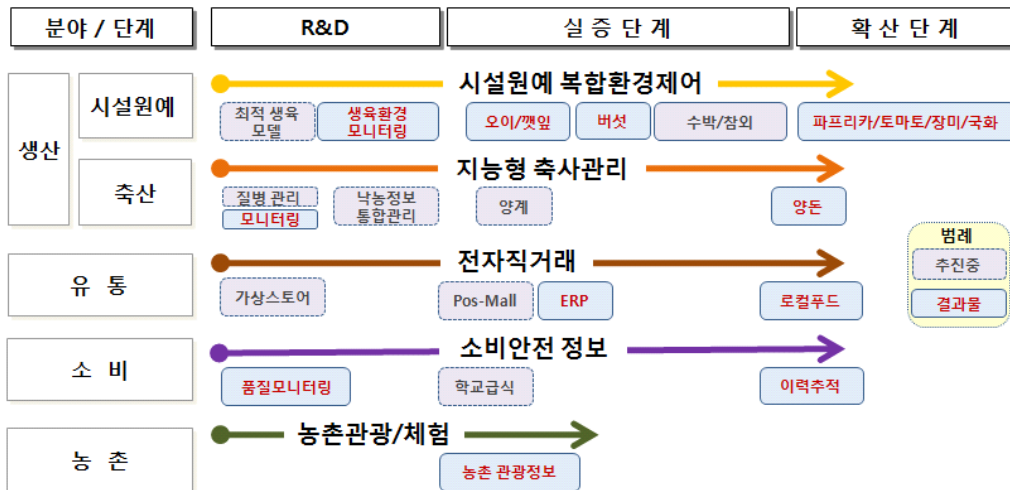


그림 1.1.7 ICT 융복합 모델 개발 현황

현재 우리나라의 스마트팜 기술은 주요 부품(센서, 제어기 등)은 외산을 구입하여 시스템을 구축하는 수준에 머물러 있음. 상당수 농가는 외산 시스템을 솔루션 형태로 도입/설치하고 있어 제품 가격 및 운용·유지보수비가 비싸고, 제품(부품) 간 상호 호환성 결여로 유지보수에 어려움을 겪고 있다.

표 1.1.2 농업 ICT 융합 분야 기술수준

| 국가 | 한국 | 미국 | 일본 | 영국 | 프랑스 | 네덜란드 | 독일 | 호주 | 중국 |
|---------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 기술수준그룹 | 추격 | 최고 | 선도 | 선도 | 선도 | 선도 | 선도 | 선도 | 추격 |
| 기술수준(%) | 74.8 | 100 | 97.7 | 89.5 | 89.1 | 99.1 | 93.3 | 83.4 | 61.1 |
| 기술격차(년) | 4.6 | 0 | 0.8 | 2.1 | 2.2 | 0 | 1.4 | 3.4 | 7.0 |

※ 농림축산식품부, 2013

이상과 같이 축산 및 원예 등 온실 및 시설 내 농업에 대한 ICT 융복합·스마트 농장 기술 개발 노력 및 기술의 성숙도는 미미하지만 기술 선도국에 근접한 수준으로 발전하고 있으나 밭농업으로 대표되는 노지재배에 대한 ICT 융복합 및 스마트 농장에 대한 기술개발은 매우 미미한 수준에 머무르고 있다.

❖제품수명주기(PLC)

- 파프리카, 딸기 등 온실 ICT 모델검증 추진중
- 네덜란드 제품과 경합, 기술력 열위 상태

❖제품수명주기(PLC)

- 과수, 벼외에는 연구개발이 미흡한 실정이며, ICT 접목기술도 현저히 저조
- 노지분야의 작업관리를 위해 ICT기술이 도입중이며 방제분야는 무인헬기 적용

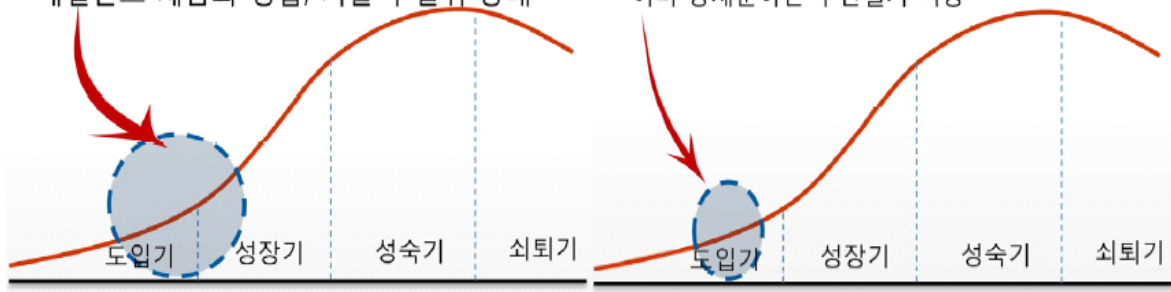


그림 1.1.8 시설원예(좌)와 노지재배(우)의 제품수명주기(PLC)

※ 최영찬, 2014, 농업과 ICT 융복합 유망분야 및 정책제언, 농업은 미래다 정책세미나 2014

도입에서 성장단계로 들어가는 시설원예에 비하여 국내 농업현장의 대부분을 차지하는 노지에 대한 ICT 융복합 모델은 도입수준에 머물러 있으며 그나마 대부분은 일부 국내 선도 과수농가의 관수관리 시스템에 한정되어 있다. 따라서 노지의 영농에 가장 중요한 온습도, 토양수분 및 강우정보를 수집, 저장 가공하여 가장 적절한 시기 및 수량을 결정하여 관수시스템을 제어하는 시스템을 국내 영농활동에 적합하게 개발하는 것이 필요하다. 이러한 시스템은 Smart기기로 제어할 수 있도록 시스템을 구축할 필요가 있으며 이러한 시스템만이 농업 노동력의 고령화에 대응하면서 향후 농식품 빅데이터로 활용될 가능성을 가질 수 있다.

제2절 연구개발의 목표 및 내용

1. 연구개발의 최종 목표

이상과 같이 밭농업에 대한 수요는 증가하고 있으며 쌀의 경우 자급률이 100%를 초과하는 실정에서 농지의 범용적 사용에 대한 사회적·기술적 요구는 지속적으로 증가하고 있으며, 농민의 고령화에 대응하고 및 생산성을 향상할 수 있는 ICT 융합기술의 확대 정책은 온실 등 일부 분야에 집중되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 ICT 기술을 융합하여 농지 범용화를 위해 논에서 밭작물을 재배하는 경우에 있어서 적용할 수 있는 스마트 제어기술의 실용화에 대한 것으로 ① 범용농지 적합형 토양수분 관리 기술과 ② 무선통신을 활용한 현장 계측 및 제어기술을 융합하고 ③ 스마트 절수형 토양수분환경 제어시스템 및 어플리케이션을 개발하고자 한다.

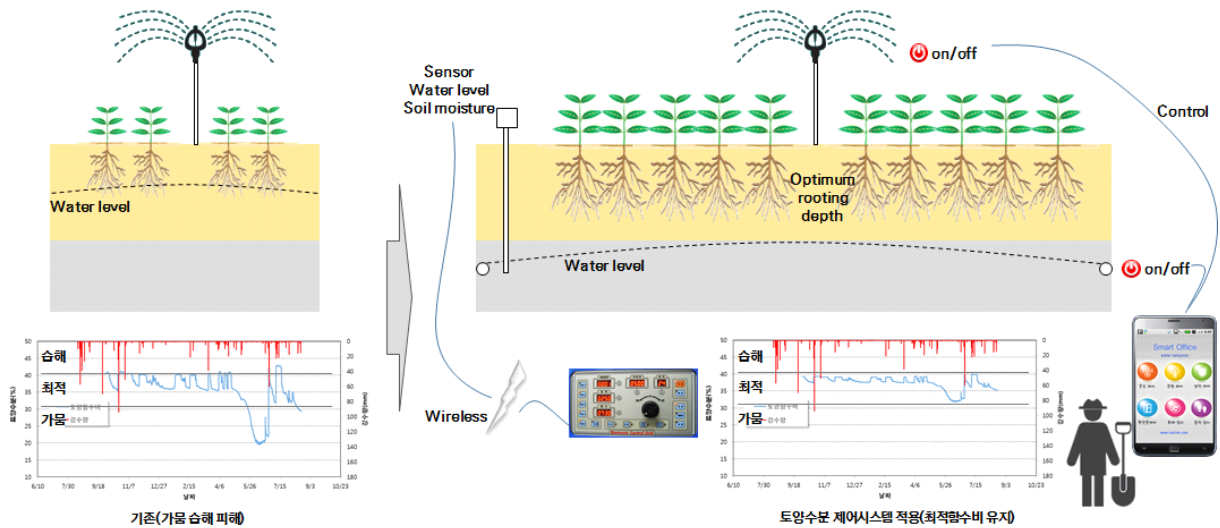


그림 1.1.9 연구개발 시스템 개념도

2. 연구개발의 주요 내용

가. 범용농지 맞춤형 토양수분 제어 및 운영기술 개발

- 토양수분 변화 예측을 위한 관련 기술 및 최적 기상예보모델 선정
- 기상청 기상예보 자료 연계 토양수분 변화 예측 및 최적 토양수분 관리 알고리즘 개발
- 기존 기상자료 및 토양수분 데이터를 이용한 토양수분 예측 및 알고리즘의 검증
- 토양수분 예측결과 및 기상조건에 따른 관개 및 배수시스템의 작동 알고리즘 구현
- 범용농지 맞춤형 관개시스템 설계 및 지하배수암거 설계 기술 개발
- 지상관개 및 지하수위 변동에 따른 토양함수비 변화 모니터링
- 토양수분 관리 수준에 따른 작물 생육 및 수확량 평가

나. 범용농지 적용 스마트 토양수분 관리시스템 개발

- 범용농지 적용스마트 토양수분 관리시스템 구성요소의 기술 분석 및 총괄시스템의 경제성 검토
- 다중 사용을 고려한 범용농지 맞춤형 무선통신 토양수분 측정장치 개발
- 선택적 용수공급 및 작물생육에 적합한 토양수분 유지를 위한 맞춤형 토양수분 제어시스템 개발
- 범용농지 적용을 위한 농업인 활용 일체형 관개 및 배수 제어시스템 개발
- 모바일 토양수분 모니터링 및 용수공급 제어 어플리케이션 개발

다. 테스트베드 설치 및 적용성 평가

- 농지 범용화 사업 대상지 발굴
- 농지범용화를 위한 스마트 토양수분 제어 적용을 위한 최적 테스트베드 구축
- 스마트 토양수분 제어 기술에 의한 테스트베드 운영 및 적용성 평가

3. 연차별 연구개발의 목표 및 내용

표 1.1.3 연차별 연구개발 목표 및 내용

| 구분 | 연구개발의 목표 | 연구개발의 내용 |
|----------------|--|---|
| 1차년도 (2016) | ○ 범용농지 적용 근거리 무선통신 토양수분 측정장치 개발 | ○ 작물에 의한 통신 장애를 방지할 수 있는 통신장치 개발 ○ 차후 영농기 준비 시 발갈이에 대비한 설치와 제거가 용이한 측정 외함 개발 ○ 저전력 소비로 별도의 전원 공급장치 없이 영농기간 지속적인 측정이 가능한 측정장치 개발 ○ 근거리 무선통신 신호처리 모듈 개발 |
| | ○ 농지 범용화를 위한 관배수 시스템 설계 및 테스트베드 구축 | ○ 농지범용화의 유형구분 및 농지범용화 적지 발굴 및 조사 ○ 테스트베드 적정지구 선정 및 테스트베드 농업자원 등 관배수 현황 조사 ○ 테스트베드 물수지, 토양환경, 적정 작물 분석 ○ 농지 범용화를 위한 관개 및 배수시스템·모니터링시스템 설계 및 테스트베드 구축 |
| 2차년도 (2017) | ○ 범용농지 적용을 위한 맞춤형 토양수분 제어 시스템 개발 | ○ 범용농지 적용스마트 토양수분 관리시스템 구성요소의 기술 분석 및 경제성 검토 ○ 사용자에게 의한 선택적 용수공급이 가능한 제어 기술 개발 ○ 작물 생육에 필요한 토양수분을 유지하는 용수공급장치 자동제어 기술 개발 ○ 다양한 농지 적용이 가능한 토양수분 관리시스템 개발 ○ 스마트 토양수분 관리시스템의 테스트베드 적용 |
| | ○ 토양수분제어 시스템의 적용에 따른 작물생육 영향 등 환경영향 분석 | ○ 토양수분 변화 예측을 위한 관련 기술 및 최적 기상예보모델 선정 ○ 토양수분물수지 모형 및 토층별 토양수분 소비패턴 분석결과를 이용한 관개 및 배수시스템의 최적 운영과 최적 토양수분관리 기준 적용 ○ 기상예보자료를 이용한 토양수분 예측에 따른 토양수분 관리 적용 ○ 토양수분 제어기술의 테스트베드 적용 및 작물생육 평가 ○ 토양수분 제어기술의 테스트베드 적용에 따른 관배수 효율분석 |
| 3차년도 (2018) | ○ 스마트 토양수분 관리 시스템 구축 및 적용 | ○ 모바일 토양수분 모니터링 기술 개발 ○ 스마트폰을 이용한 토양수분 원격제어 어플리케이션 개발 ○ 스마트 토양수분 관리시스템의 테스트베드 적용결과 분석 및 개선 |
| | ○ 토양수분제어 시스템의 적용 타당성 평가 및 개선 | ○ 토양수분물수지 모형 및 토층별 토양수분 소비패턴 분석을 통한 최적 토양수분관리 기준 적용 ○ 기상예보자료를 이용한 토양수분 예측에 따른 토양수분 관리 적용 ○ 토양수분 제어기술의 테스트베드 적용 및 작물생육 평가 ○ 토양수분 제어기술의 테스트베드 적용에 따른 영농효율 분석 ○ 토양수분 제어기술의 적용에 따른 경제성 분석 |

| 구분 | 연구개발의 목표 | 연구개발의 내용 |
|----|----------|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> ○ 토양수분 제어기술의 현장운용평가 및 성능향상을 위한 최적제어기술 개발 ○ 산업화 개발전략 수립을 위한 현장모니터링 결과 도출 |

제3절 연구 추진방법 및 체계

1. 연구 추진방법

1.1 연구개발 추진전략 및 방법

본 연구의 최종목표인 ICT 기반의 범용농지 적용을 위한 스마트 토양수분 제어 시스템 및 실용화 기술의 개발을 위하여 다음과 같이 추진전략을 수립하였다.

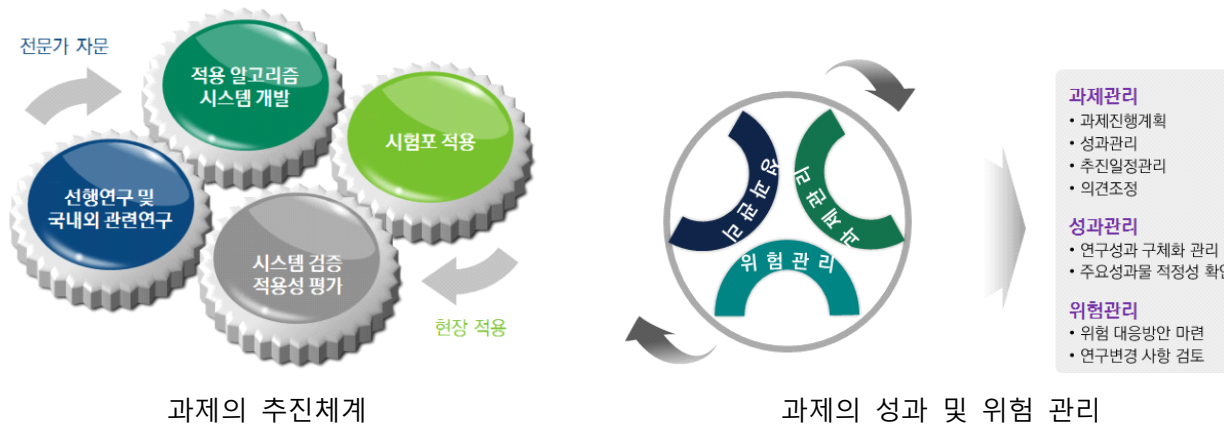


그림 1.10 연구의 추진체계 및 관리방안

- (산학공동연구) ICT 기술을 활용한 각종 농업·농촌지역 적용 경험을 보유한 제안사와 농업 관개·배수 관련 전공자 및 경험을 보유한 서울대학교 연구팀과의 협력을 통해 연구 목표를 달성하고자 함
- (제품개발) ICT 기술을 이용한 무선통신 일체형 센서 및 제어장치
 - 토양수분 센서와 계측정보의 통신장비 일체형 센서는 농업활동에 영향을 최소화하기 위한 것으로 고랑 작업 등의 활동 시에 일시 제거 후 필요 시 설치를 위한 제품
 - 제어장치는 관개용수의 공급을 위한 펌프의 작동, 배수를 위한 배수밸브의 작동, 배수 집수정 내에 설치되는 배수펌프의 작동을 위한 제어장치로 모든 시스템은 내구성 확보를 위하여 IP66등급 확보를 목표로 함
- (제어 알고리즘 개발) 기상, 토양특성 및 작물에 따른 ICT 융복합 토양수분 제어 알고리즘 개발
 - 기상에 따른 관개 : 현재 토양함수비 및 기상조건에 따른 최적 관개 시나리오 개발 및 제어 알고리즘 개발
 - 기상에 따른 배수 : 지하수위 계측에 따른 최적 배수밸브 작동 알고리즘 개발

- (제어시스템 및 앱 개발) 관개 및 배수를 위한 토양수분 제어시스템 및 스마트폰 기반 관리시스템
 - 제어시스템 : 작목별 기본설정 및 현장에서 직접 제어가 가능한 시스템 구성
 - 스마트 관리 시스템 : 영농인에게 농지의 기상정보, 계측정보, 제어정보의 전달기능 및 현장 시스템의 제어기능 제공

1.2. 범용농지 적합형 토양수분 제어기술 개발 방안

본 연구는 앞서 연구개요에서 제시한 바와 같이 다음과 같은 범용농지에서의 최적 토양수분 제어기술에 대한 실용화 성과품을 제시하는 것으로 다음의 단계로 연구를 수행할 계획이다.

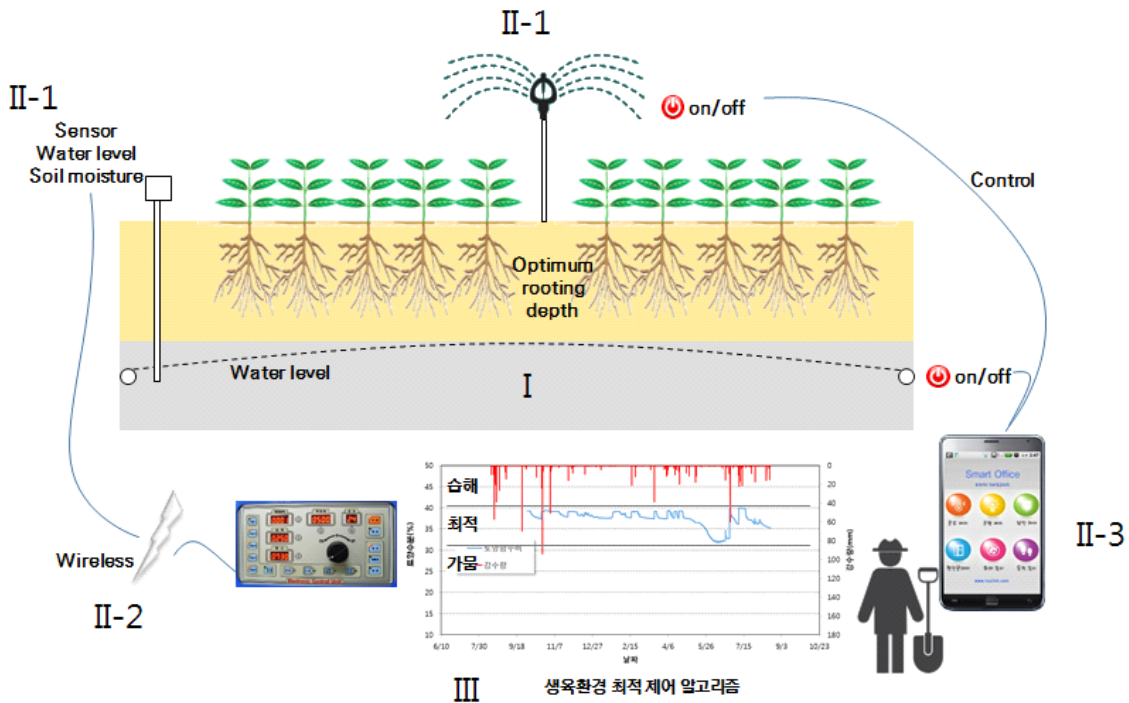


그림 1.1.11 연구결과의 도출방안 개요

- I 단계 : 테스트베드 구축
 - 연구의 개발에 필요한 요소기술을 적용, 평가, 검증 및 개선하기 위하여 테스트베드를 구축함
 - 테스트베드는 효과검증을 위한 대조구의 설계, 각 요소기술의 적용성 검증을 위한 관개 및 배수 장치의 설계 등의 과정을 통해 최적지를 선정하고 구축함
- II-1 단계 : 요소기술(하드웨어) 분석 및 평가
 - 범용농지에 포함되는 요소기술은 관개 및 배수에 관한 기술로 적용가능한 각 장치의 종류를 조사 및 분석하고 가장 적합한 기술을 선정함
 - 핵심 측정장치인 토양수분 계측장치에 대한 조사 및 분석을 실시하고 적합한 내구성, 정밀도, 경제성을 가진 장치를 선정함(기술적 검토 후 구성장치의 일부는 개발가능)
- III 단계 : 요소기술(제어 알고리즘) 개발

- 본 연구는 예측결과에 대한 제어만을 목적으로 하지 않으며 토양수분에 대한 예측기술을 활용한 제어를 목적으로 하며 기상(강수량)예보자료를 활용한 토양수분 예측기술을 개발
- II-2 단계 : 현장 제어장치 개발
 - 농지의 토양수분 계측치를 표시하고 관개 및 배수시스템을 제어할 수 있는 제어반(control panel)을 설계 및 개발하여 적용
- II-3 단계 : 스마트 제어 애플리케이션 개발
 - 농지의 토양수분 계측치를 표시하고 농지에 설치된 제어반(control panel)을 제어할 수 있는 애플리케이션 개발 및 적용
- IV 단계 : 테스트베드 적용, 검증 및 개선 단계
 - 각 요소기술의 적용 및 검증을 통하여 시스템을 개선하고 최종 통합된 시스템을 구축함

2. 연구의 추진체계

본 연구의 3년의 연구내용은 앞서 정리하였고, 본 연구는 시스템개발과 운영기술의 개발 및 적용 및 검증의 과정으로 추진되며, 각각의 내용을 요약하면 다음과 같다.



그림 1.1.12 연구의 추진체계

제2장 연구수행 내용 및 결과

제1절 농지범용화 현황 및 적지분석

1. 농지범용화 개요

2008년도부터 2014년까지 밭의 순 증가 면적은 45,851ha로 연평균 6,550ha가 증가 하였으며, 증가된 면적 198,640ha 중 일부 면적은 개간, 간척, 유휴지복구 면적이지만 대부분의 면적은 논이 밭으로 전환(127,589ha, 64.2%)된 것으로 이는 밭작물의 수요증가와 수익성 개선에 따라 밭작물 재배가 논으로 이전된 것임을 알 수 있다.

표 2.1.4 연도별 경지면적 증감 현황(단위 : ha, %)

| 연도 | 계 | | 논 | | 밭 | | |
|------|-----------|-----------|----------|------|---------|----------|------|
| | 면적 | 면적 | 증감 | 비율 | 면적 | 증감 | 비율 |
| 1994 | 2,032,706 | 1,267,112 | △ 31,211 | 62.3 | 765,594 | 9,103 | 37.7 |
| 1995 | 1,985,257 | 1,205,867 | △ 61,245 | 60.7 | 779,390 | 13,796 | 39.3 |
| 1996 | 1,945,480 | 1,176,148 | △ 29,719 | 60.5 | 769,332 | △ 10,058 | 39.5 |
| 1997 | 1,923,522 | 1,162,852 | △ 13,296 | 60.5 | 760,670 | △ 8,662 | 39.5 |
| 1998 | 1,910,081 | 1,157,306 | △ 5,546 | 60.6 | 752,775 | △ 7,895 | 39.4 |
| 1999 | 1,898,925 | 1,152,579 | △ 4,727 | 60.7 | 746,346 | △ 6,429 | 39.3 |
| 2000 | 1,888,765 | 1,149,041 | △ 3,538 | 60.8 | 739,724 | △ 6,622 | 39.2 |
| 2001 | 1,876,142 | 1,146,082 | △ 2,959 | 61.1 | 730,060 | △ 9,664 | 38.9 |
| 2002 | 1,862,622 | 1,138,408 | △ 7,674 | 61.1 | 724,214 | △ 5,846 | 38.9 |
| 2003 | 1,845,994 | 1,126,723 | △ 11,685 | 61 | 719,271 | △ 4,943 | 39 |
| 2004 | 1,835,634 | 1,114,950 | △ 11,773 | 60.7 | 720,684 | 1,413 | 39.3 |
| 2005 | 1,824,039 | 1,104,811 | △ 10,319 | 60.6 | 719,228 | △ 1,456 | 39.4 |
| 2006 | 1,800,470 | 1,084,024 | △ 20,787 | 60.2 | 716,446 | △ 2,782 | 39.8 |
| 2007 | 1,781,579 | 1,069,932 | △ 14,092 | 60.1 | 711,647 | △ 4,799 | 39.9 |
| 2008 | 1,758,795 | 1,045,991 | △ 23,941 | 59.5 | 712,804 | 1,157 | 40.8 |
| 2009 | 1,736,798 | 1,010,287 | △ 35,704 | 58.2 | 726,511 | 13,707 | 41.8 |
| 2010 | 1,715,301 | 984,140 | △ 26,147 | 57.4 | 731,161 | 4,650 | 42.6 |
| 2011 | 1,696,040 | 959,914 | △ 24,226 | 56.6 | 738,126 | 6,965 | 43.4 |
| 2012 | 1,729,981 | 966,076 | 6,162 | 55.8 | 763,905 | 25,779 | 44.2 |
| 2013 | 1,711,436 | 963,876 | △ 2,200 | 56.3 | 747,560 | △ 16,345 | 43.7 |
| 2014 | 1,691,113 | 933,615 | △ 30,261 | 55.2 | 757,498 | 9,938 | 44.8 |

연평균 5,384 ha의 밭이 유휴지화 되는 것은 농업인의 고령화 및 농지의 영농환경(정비불량, 급경사, 접근성 등)의 영향으로 판단되며, 그럼에도 밭의 절대 면적이 증가한 것은 앞서 언급한 바와 같이 수요 및 수익성의 증가에 기인한 것으로 보인다.

표 2.1.5 발면적 증감 사유별 내역 (단위: ha)

| 연도별 | 발면적 | 차인면적 (A-B) | 발 면적 증가 내역 | | | | |
|--------|---------|---------------|------------|-----------|--------|-----|-------|
| | | | 계(A) | 논→발 전환 | 개간 | 간척 | 복구 |
| 2008 | 712,804 | 1,157 | 25,698 | 21,324 | 3,936 | - | 438 |
| 2009 | 726,511 | 13,707 | 48,094 | 29,218 | 18,447 | 99 | 330 |
| 2010 | 731,161 | 4,650 | 29,147 | 21,819 | 6,770 | 10 | 548 |
| 2011 | 738,126 | 6,965 | 25,570 | 20,697 | 4,512 | 57 | 304 |
| 2012 | 763,905 | 25,779 | - | - | - | - | - |
| 2013 | 747,560 | △16,345 | 35,169 | 8,891 | 21,466 | 4 | 4,808 |
| 2014 | 757,498 | 9,938 | 34,962 | 25,640 | 9,322 | - | - |
| 계 | | 45,851 | 198,640 | 127,589 | 64,453 | 170 | 6,428 |
| 연평균 | | 6,550 | 33,106 | 21,265 | 10,742 | 28 | 1,071 |
| 구성비(%) | | | 100 | 64.4 | 32.5 | 0.1 | 3.2 |

표 2.1.6 발면적 감소 사유별 내역 (단위: ha)

| 연도별 | 발 면적 감소 내역 | | | | | |
|--------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 계(B) | 발→논 전환 | 건물건축 | 공공시설 | 유휴지화 | 기타 |
| 2008 | 24,541 | 5,798 | 6,364 | 2,435 | 7,395 | 2,549 |
| 2009 | 34,387 | 5,876 | 8,412 | 6,231 | 10,800 | 3,068 |
| 2010 | 24,497 | 4,802 | 4,770 | 4,604 | 7,836 | 2,485 |
| 2011 | 18,605 | 3,600 | 4,778 | 2,424 | 6,072 | 1,731 |
| 2012 | - | - | - | - | - | - |
| 2013 | 51,873 | 20,750 | 3,626 | 469 | - | 27,028 |
| 2014 | 25,024 | 2,773 | 1,826 | 614 | 203 | 19,608 |
| 계 | 178,927 | 43,599 | 29,776 | 16,777 | 32,306 | 56,469 |
| 연평균 | 29,821 | 7,266 | 4,963 | 2,796 | 5,384 | 9,412 |
| 구성비(%) | 100 | 24.4 | 16.6 | 9.4 | 18 | 31.6 |

주) 1. 경지면적은 2012년부터 위성영상을 활용한 원격탐사로 조성방법이 전환됨

2. 2013년은 유휴지 항목은 기타에 합산됨

※ 2014년 농림축산식품 통계연보 및 통계청

주로 논농사와 밭농사로 구분되는 우리나라에서 농지범용화는 벼를 재배하던 논을 지표 및 지하배수 여건을 개선하여 밭작물, 화훼, 특용작물 재배 및 시설하우스 설치가 가능한 밭으로 활용할 수 있도록 기반을 조성하는 것을 말한다. 경우에 따라서는 배수밸브의 조절에 따라 다시 논으로 활용할 수 있는 여건을 유지하는 것을 의미한다. 이는 기후변화에 따른 작부체계의 변화 및 정부의 정책 변화, 농민의 소득에 따른 영농여건의 변화 등에 유연하게 농지를 활용하고자 하는 기술 및 정책을 의미한다. 이상에서 살펴본 바와 같이 발면적의 변화 중에서 논에서 밭으로 전환되는 면적이 많은 시점에서 농지범용화 기술이 적용된다면 다양한 여건에 의해 논이 필요한 경우 밭에서 논으로 전환이 용이해진다는 것을 의미한다.

2. 국내외 농지범용화 현황

2.1 국내 농지범용화 현황

가. 국내 농지범용화 연구현황

농지범용화 기술은 일차적으로 논을 밭으로 만드는 것으로 지하배수가 포함되는 경우에 있어서 수갑을 설치하고 이를 닫으면 다시 밭에서 논으로 활용하고자 하는 것이 기본 개념이다. 이러한 측면에서 정기열(2010)은 밭작물 재배를 위한 경사지 논토양의 배수방법 개선 연구에서 200mm 유공관, 쇠석 소수재, 수갑, 비닐막 차단설치를 통한 외수유입방지시설을 설치하여 암거배수 연구를 실시하였다. 유공관 매설깊이는 60~90cm, 소수재는 30cm 깊이로 충진, 바닥경사는 2~7%로 시험시공하였다. 수갑으로는 사진과 같이 스테인레스 접형변을 집수거 단부에 설치하여 배수를 관리하였다.

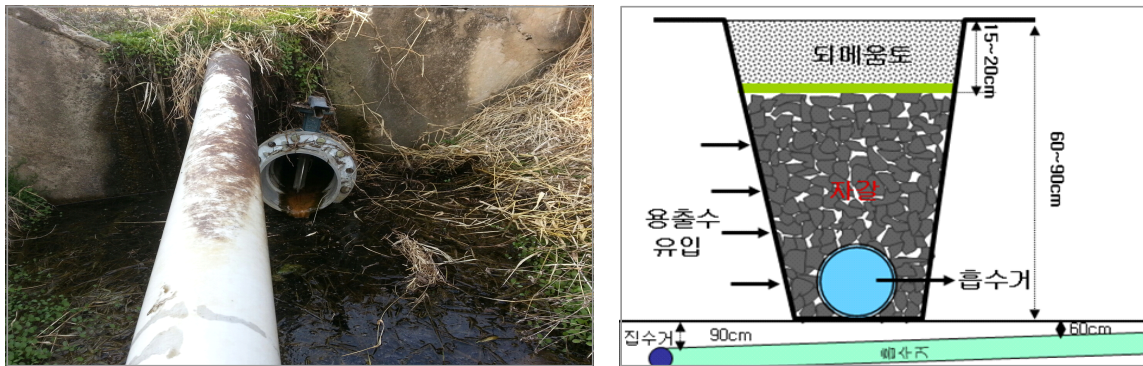


그림 2.1.13 유공관 설치 단면 및 수갑설치 사례

논 인삼재배단지에서 암거배수장치를 이용하여 얇은 깊이로 암거관을 매설하여 배수하는 방식으로 암거깊이 65cm, 간격 5~7m로 시공하였고, 강우기에 배수불량인 논토양의 토양수분 및 지하수위를 제어하여 생육을 촉진할 수 있으며, 인삼 수확 후에는 말단부의 수위조절 밸브를 닫아 벼농사 재배가 가능하도록 한 사례가 있다.



그림 2.1.14 신삼재배단지에서의 암거배수효과(좌:암거배수, 우:무처리)

나. 국내 농지범용화 사업현황

농지범용화 사업은 논 및 밭에 대한 기반정비사업의 대부분의 사업과 유사한 기술을 공유하는 사업으로 볼 수 있으며 따라서 현재 우리나라에서 「농어촌정비법」을 근거법령으로 하여 시행되고 있는 농업기반정비사업을 모두 고려할 필요가 있다. 이러한 사업에는 농업용수개발사업, 배수개선사업, 대구획경지정리사업, 밭기반정비사업, 수리시설개보수사업, 관수로설치사업, 객토사업, 기계화경작로확·포장사업 등이 있다. 각 사업 중에서 주요한 사업과 농지범용화 사업의 관련성 및 유사성 등을 비교하면 다음 표와 같다.

표 2.1.7 농지범용화와 관련성·유사성이 있는 사업과의 비교

| 구 분 | 농지범용화 사업 | 배수개선 사업 | 대구획경지정리 사업 | 밭기반정비 사업 |
|------|--|---|--|---|
| 시행주체 | 시장·군수 한국농어촌공사 사장 | 시장·군수 한국농어촌공사사장 | 시장·군수 한국농어촌공사 사장 | 시·도(시·군·구) |
| 사업목적 | -밭작물 재배가 어려운 논을 대상으로 용·배수시설, 암거배수시설 등을 정비 -대구획정비, 등 종합적으로정비하여 식량자급률과 농가소득 향상 도모 | 침수피해를 겪고 있는 농경지에 배수장, 배수문, 배수로 등 배수시설을 설치, 논에서의 원예작물 등 다양한 작물 재배 연건을 구축 | 규모화, 대형기계화영농기반 조성으로 토지 및 노동의 생산성 증대와 농지 및 수자원의 효율적 이용·보전·관리기반 조성 | 채소, 과수, 특용작물 등 주산단지 및 집단화된 밭을 대상으로 용수개발, 농로개설, 경지정리 등 생산기반 구축 |
| 수혜대상 | 농업인 | 농업인 | 농업인 | 농업인 |
| 대상농지 | 논 | 논 | 논 | 밭 |
| 지원대상 | 밭작물 재배가 집단화되어 있거나 밭작물재배전환을 희망하는 농지 우선 지원 | 상습적인 침수 피해를 겪고 있고, 농지로의 보전가능성이 높은 농업진흥 지역 내 농지 우선 지원 | 조사된 대상지 중 50ha 이상을 우선 지원하고, 50ha 미만은 기반정비가 시급한 지역은 조사 후 시행 | 밭면적이 30ha이상인 지구를 우선 지원하되, 30ha미만 지구도 주민호응도 등을 고려하여 지원 |
| 시행방식 | | 중앙정부 시행 - 농특회계 | 시·도(지자체) 주도 시행 -포괄보조사업 | 시·도(지자체) 주도 시행 -포괄보조사업 |

이 사업들 중에서 밭기반정비 사업은 밭작물 재배가 어려운 농지를 대상으로 기반사업을 수행하여 생산기반을 구축한다는 측면에서 유사한 사업으로 볼 수 있다. 밭기반정비 사업은 1994년 후반부터 정부의 정책 의지로 미비한 관·배수시설, 구획정리, 농도정비 등을 내용으로 하는 밭기반정비사업이 시작되었다. 2014년말 현재 우리나라의 지역별 밭기반정비사업의

추진실적은 사업목표량 180,000ha 중 105,853ha를 시행하여 58.8%의 실적률을 보이고 있는 상황이다. 현재까지 시행하고 있는 받기반정비사업은 1. 단순정비, 2. 복합정비, 3. 종합정비 유형으로 구분되며, 농로정비나 용수개발을 시행한 단순정비 유형이 전체의 44%를 차지하고, 용수개발과 농로정비 또는 용수개발과 배수로 정비 및 농로정비를 병행한 복합정비 유형이 53%를 차지하여 대부분의 정비형태가 경지정리를 제외한 단순정비나 복합정비 형태로 시행되고 있는 실정이다.

표 2.1.8 지역별 받기반정비사업 추진실적(단위 : ha)

| 지역별 | 총발면적 | 목표사업량 (대상면적) | '14년까지 시행실적 | 실적비율(%) |
|-----|---------|-----------------|----------------|---------|
| 합계 | 757,498 | 180,000 | 105,853 | 58.8 |
| 인천 | 6,509 | 60 | 60 | 100 |
| 울산 | 4,860 | 400 | 208 | 52 |
| 경기 | 79,332 | 2,300 | 1,000 | 43.5 |
| 강원 | 68,755 | 21,800 | 10,802 | 49.6 |
| 충북 | 66,933 | 9,190 | 4,225 | 46 |
| 충남 | 68,156 | 10,600 | 4,529 | 42.7 |
| 전북 | 66,729 | 13,600 | 7,410 | 54.5 |
| 전남 | 117,980 | 33,000 | 23,018 | 69.8 |
| 경북 | 141,854 | 43,000 | 18,300 | 42.6 |
| 경남 | 60,280 | 7,600 | 5,989 | 78.8 |
| 제주 | 62,667 | 38,450 | 30,312 | 78.8 |
| 기타 | 13,443 | - | - | - |

주 1) 총 발면적은 2014년말 기준임(세종특별자치도는 충남도에 포함함).

2) 기타는 받기반정비사업 대상지가 없는 특별시 및 광역시 지역임.

3) 면적은 착수 기준임.

농업인력의 고령화와 농업대국과의 FTA 체결 등 대내외적인 여건 변화에 따른 받농업 경쟁력을 높이기 위해서는 받기반정비사업을 단순정비나 복합정비 유형을 탈피하여 기계화 영농이 가능한 경지정리 형태의 종합정비로 추진되어야 할 것이다. 받기반 정비사업의 촉진을 위해 지역 맞춤형 정비사업을 추진하기 위해서는 받기반 정비를 요구하는 수요에 기반으로 하여 선택적으로 사업을 수행할 필요가 있다. 농지범용화 사업의 경우에도 이러한 받기반정비 사업의 시사점을 참고하여 향후 수행할 필요가 있을 것으로 판단된다.

표 2.1.9 받기반정비 유형별 시행현황

| 시·도별 | 단순정비형 | | 복합정비형 | | 종합정비형 | | 계 | |
|------|-------|----|-------|----|-------|----|-------|-----|
| | 지구수 | 비율 | 지구수 | 비율 | 지구수 | 비율 | 지구수 | 비율 |
| | 개소 | % | 개소 | % | 개소 | % | 개소 | % |
| 계 | 787 | 44 | 955 | 53 | 48 | 3 | 1,790 | 100 |
| 경기 | 29 | 57 | 22 | 43 | - | - | 51 | 100 |
| 강원 | 43 | 29 | 103 | 69 | 4 | 2 | 150 | 100 |
| 충북 | 32 | 39 | 45 | 56 | 4 | 5 | 81 | 100 |
| 충남 | 69 | 62 | 36 | 32 | 6 | 6 | 111 | 100 |
| 전북 | 73 | 47 | 83 | 53 | - | - | 156 | 100 |
| 전남 | 110 | 44 | 118 | 47 | 22 | 9 | 250 | 100 |
| 경북 | 189 | 46 | 219 | 53 | 4 | 1 | 412 | 100 |
| 경남 | 61 | 37 | 97 | 59 | 7 | 4 | 165 | 100 |
| 제주 | 171 | 43 | 229 | 57 | 1 | 0 | 401 | 100 |
| 광역시 | 10 | 77 | 3 | 23 | - | - | 13 | 100 |

※ 농어촌공사, 2002, 받기반정비사업 추진유형 평가분석

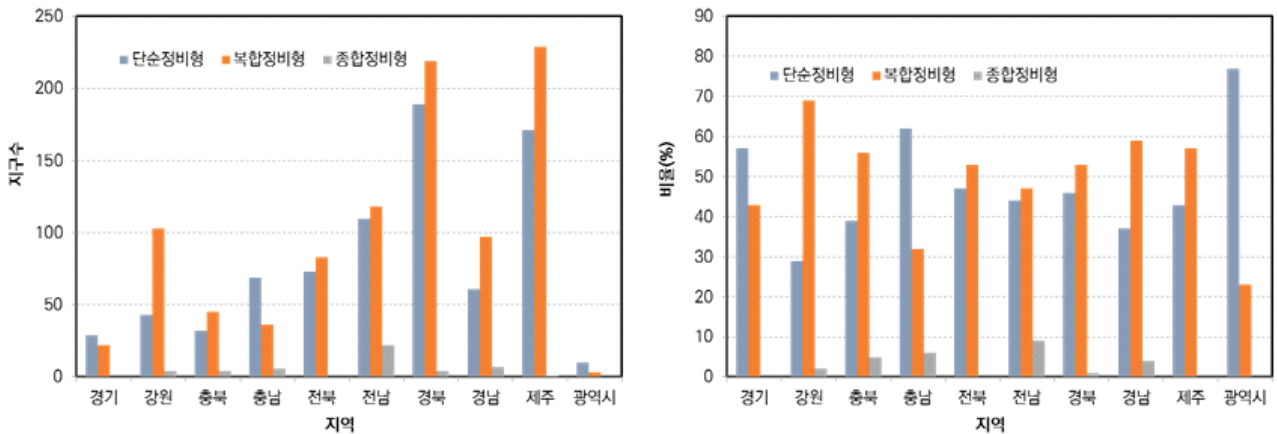


그림 2.1.15 받기반정비사업 유형

2.2 국외 농지범용화 현황

가. 일본의 범용농지 활용기술

(1) 농지범용화 사업 추진현황

일본 농림수산성 경지의 작부면적 통계자료 농업기반정보기초조사에 따르면 전체 논 면적

247만ha 중 지하수위가 70cm이상, 담수배제시간 4시간 이하인 배수양호 논이 범용화 논으로서 사업 추진에 따라 그 면적이 2011년 106만ha, 2012년 107만ha로 매년 증가하는 것으로 조사되었다.

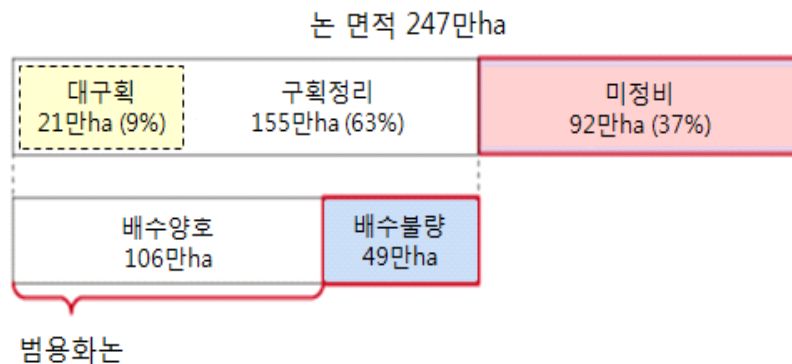
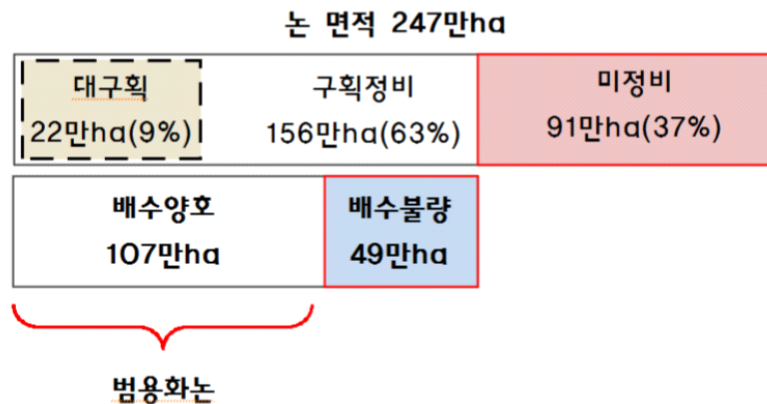


그림 2.1.16 2011년 일본의 논 현황(平成23년)



자료) 농림수산성(경지의 작부면적통계자료, 농업기반정보기초조사)
 주: 1) 구획정비논, 30a정도 이상구획으로 정비된 논(대구획 1ha정도 이상)
 2) 배수양호는 지하수위가 70cm이상, 담수배제시간은 4시간 이하인 논

그림 2.1.17 2012년 일본의 논 현황(平成24년)

(2) FOEAS시스템

일본의 범용화 기술의 한 예로서 농촌공학연구소와 개인회사에서 개발한 FOEAS시스템이 조사되었다. 그들은 다음과 같이 그 기술을 소개하고 있다. 비로 인한 피해로 수확량이 감소하고, 품질이 저하되는 피해를 받은 밭농가에서 배수관 배수 정비에 의해 배수성을 개선하기 위해 지하배수 및 지하관개기술을 도입하고 있다. 이로 인해 농작물의 수량, 품질, 암거배수에 대한 평가결과 강우 후 신속하게 방제와 수확이 가능해졌으며, 잉여수 제거에 의해 생육의 불량을 방지 할 수 있었고, 암거배수 정비에 의해 잉여수의 제거 및 적기 작업이 가능해졌다.

또한, 수갑, 관개용 밸브를 통해 지하수위 조절과 관개량을 조절하여 재배작물에 적정 지하수위조절과 관개용수의 공급을 실시하는 FOEAS 시스템을 도입하고 있다.

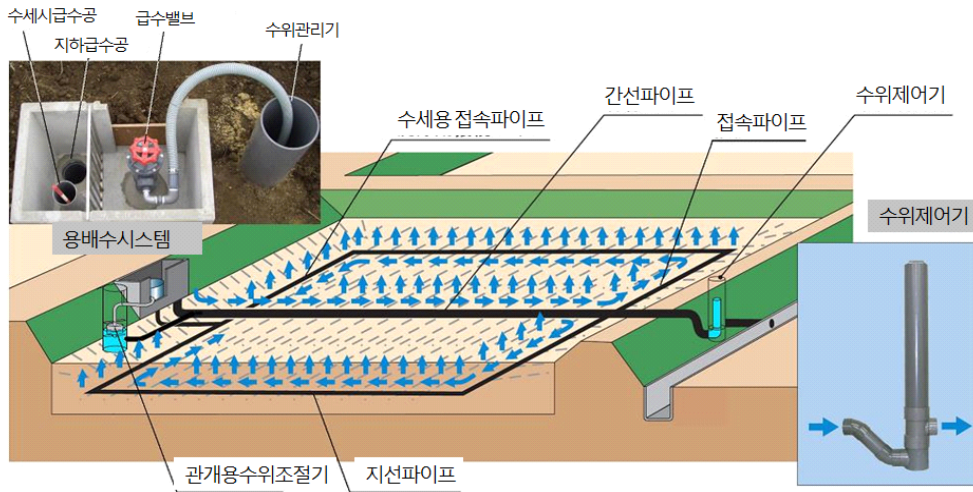


그림 2.1.18 일본의 FOEAS시스템

(3) 시트파이프 배수·관개시스템

일본 규슈대학교 후쿠다 교수는 협동연구기관들과 함께 시트파이프 배수·관개시스템(Sheet Pipe Drainage and Irrigation System)을 개발한 것으로 조사되었으며, 간략히 요약하면 다음과 같다.

본 기술은 약 40년 전에 개발되어 2001년에 신기술로 인정되어 사용되는 암거배수 장치로서 오이타 현, 나가사키 현, 후쿠오카 현, 가고시마 현 등에 보급되어 있으며, 오이타현 우사시만 1400ha의 시공 실적을 가지고 있다. 시트 파이프 배수관이 시공된 기설 포장에 관개기능을 추가할 수 있다. 신규 부설의 경우, 우선 시트 파이프 배수관만을 부설하고 필요에 따라 나중에 관개 기능을 추가하는 등 단계적인 정비도 가능하다. 용수로는 관수로, 개수로 모두에 대응 가능하다.

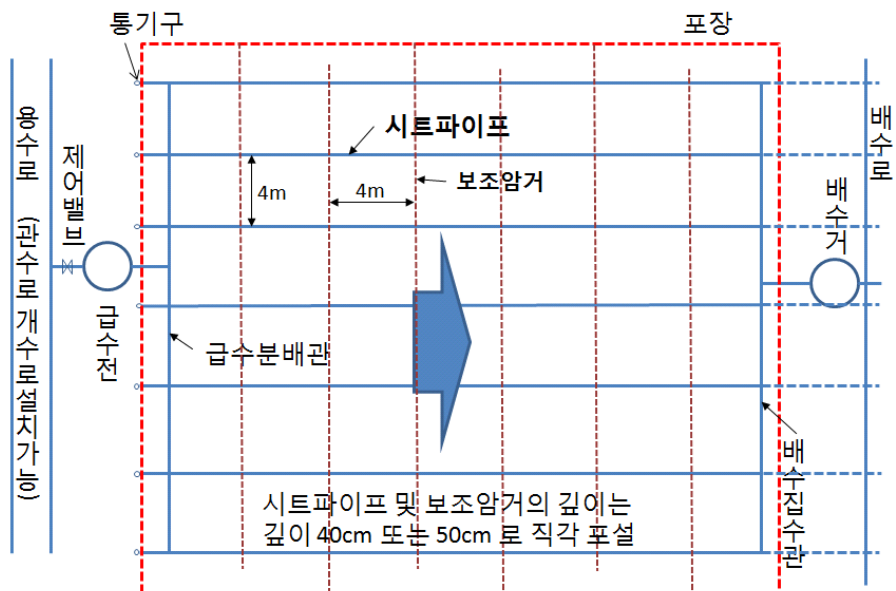


그림 2.1.19 SPIDI 시스템의 평면도

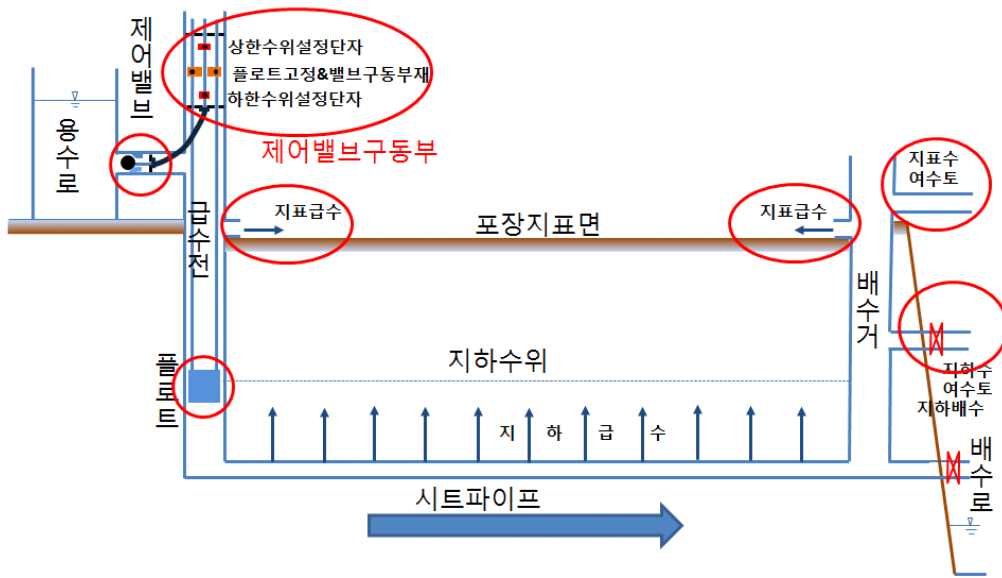


그림 2.1.20 SPIDI 시스템의 단면도

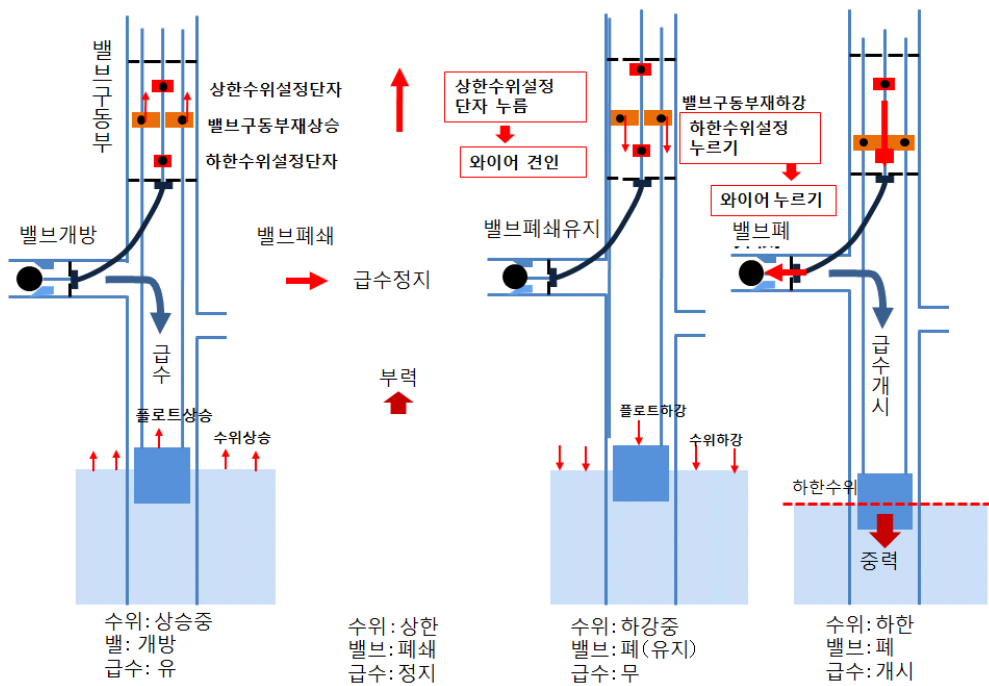


그림 2.1.21 급수제어 메카니즘

본 SPIDI 시스템의 특징은 지표급수가 가능하고 수도작의 경우 지하와 지표 양방향 급수가 가능하기 때문에 이양기 간단관개 시 단시간에 급수할 수 있는 점이다. 또한 갈수 때는 토양 전체를 전부 포화시킬 필요가 없기 때문에 지표관개만 설정하여 절수가 가능하다.



그림 2.1.22 지표급수 개념도

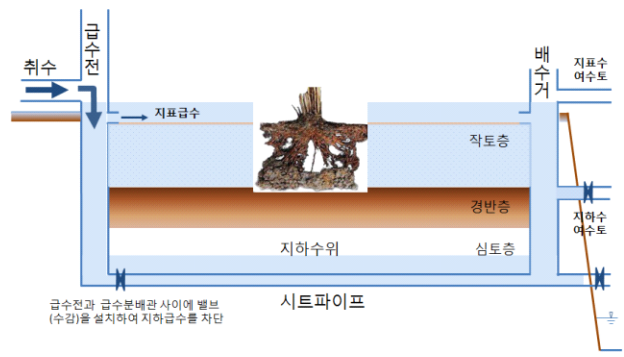


그림 2.1.23 갈수기 때 절수 개념도

또 하나의 특징으로는 수위의 상한과 하한을 설정하여 수도작의 간단관개가 가능한 점이다.

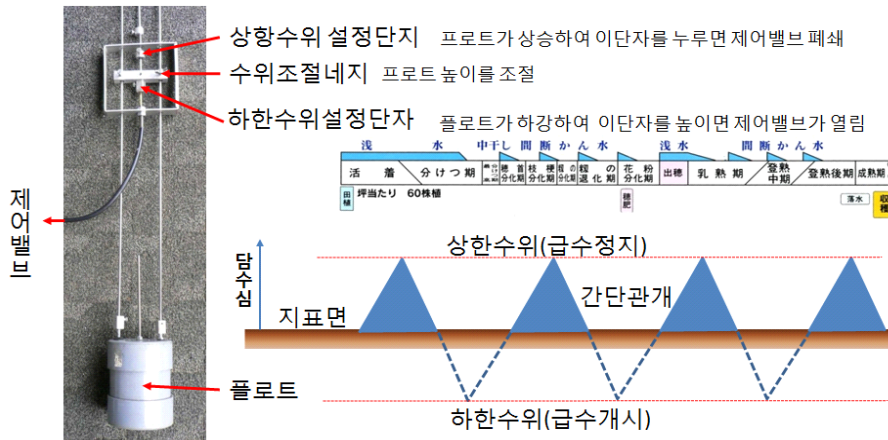


그림 2.1.24 수도작 간단관개 개념도

강우 시에 수위가 상한수위를 초과한 경우 배수거의 여수토로부터 배수가 가능하다.

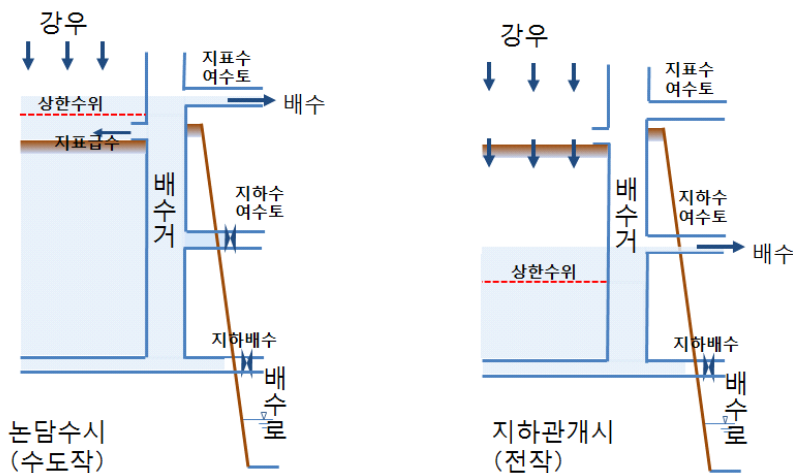


그림 2.1.25 강우시 여수토에 의한 배수 개념도

나. 네덜란드 범용농지 활용기술

네덜란드는 토지의 25 %가 해수면 아래에 있어, 약 65 %가 침수지역에 위치하고 있고, 기후는 연평균 강수량이 약 750 mm, 연간 증발량은 약 475 mm로 비교적 온화한 지역이다. 네덜란드의 경우 관개와 배수를 겸용하는 배수시스템을 활용하고 있으며, 작물의 과습을 방지하기 위해 집중적인 배수 시스템을 실시하고 있다. 배수의 경우 기계배수를 통해 적정 수위를 관리하고 있으며, 농지 내에는 암거를 설치하여 배수를 실시하고 있다.

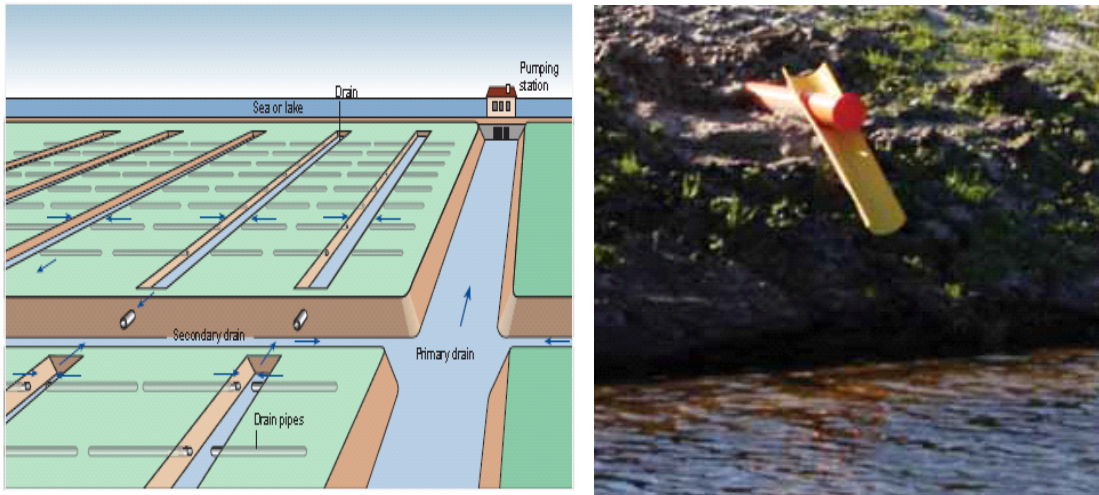


그림 2.1.26 네덜란드 배수시스템

3. 농지범용화 관련 기술

3.1 농지범용화 기술의 개념

현재 농지범용화 기술 중 핵심은 지하배수 기술이다. 즉, 흙속의 수분을 정해진 시간 내에 배제하여 작물에 습해를 주지 않도록 하는 기술이며 그 성능을 지속적으로 유지할 수 있어야 하고, 저렴한 가격에 설치가 가능하여야 한다. 농지의 여건이 배수가 양호하고 습해 가능성이 없다면 배수시설의 설치가 없이도 범용화는 가능하다. 지하배수 기술이 중요한 것은 범용화가 논과 갈을 번갈아 쓸 수 있도록 농지를 조성하는 것이기 때문이다. 일반적인 논에서의 토양관리 방법과 범용화 농지에서의 토양관리 기법을 비교하면 다음 그림과 같다.

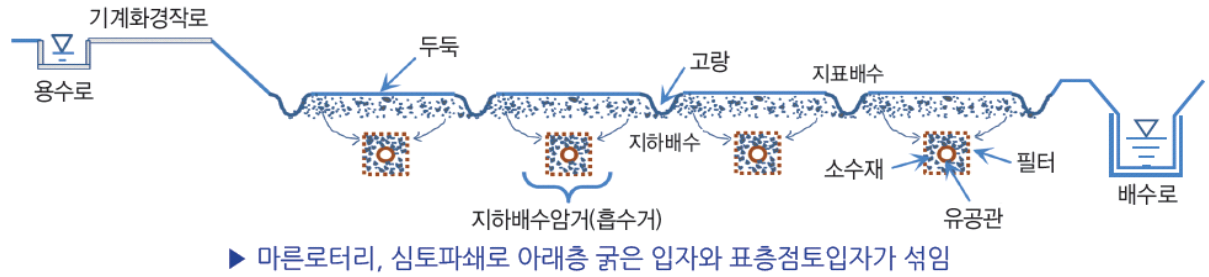
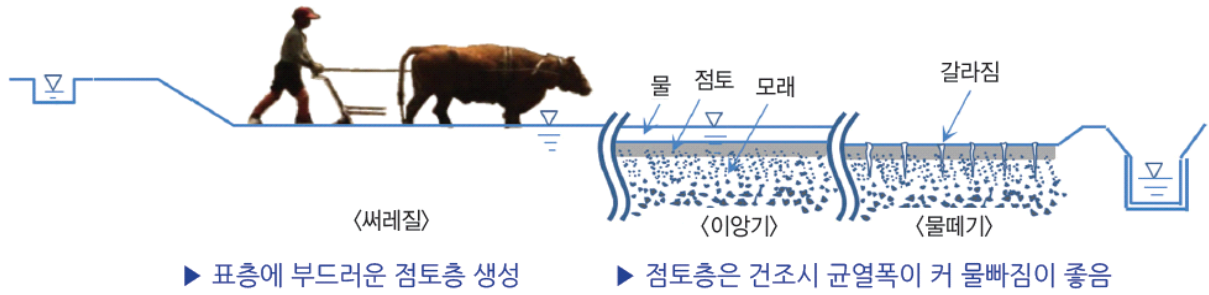


그림 2.1.27 논 및 범용농지에서의 토양관리

일반 벼농사에서의 토양관리는 논에 물이 있는 상태로 씨레질을 하여 표층에 부드러운 점토층을 형성시킨다. 범용농지를 위해서는 원활한 지표배수를 위한 두둑과 고랑, 지하배수를 위한 지하압거 및 심토파쇄가 필요하다. 논과 밭으로 운환하기 위해서는 지하배수압거의 밸브를 닫고 논토양 관리 절차를 따르고 밭으로 사용하고자 할 때는 밸브를 열어 밭토양 관리 절차를 적용한다.

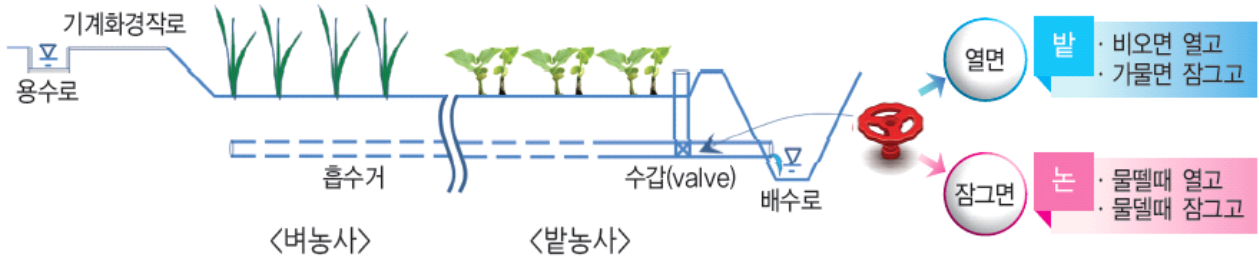


그림 2.1.28 범용농지에서의 논과 밭의 운환

3.2 살수관개 설계기술

가. 살수관개 시스템의 구성요소

살수기, 라이저, 지거, 지선, 보조간선, 간선은 살수관개시스템의 주요 구성요소들이다. 살수기는 토양표면에 빗방울처럼 물을 관개한다. 지거는 간선, 보조간선, 지거로부터 살수기까지 관개용수를 공급하며 간선은 수원공으로부터 보조간선, 지선, 지거로 관개용수를 운반한다.

(1) 살수기

살수기의 기능은 근근역에서 유출이나 침투가 없이 포장에 물을 분배하는 것이다. 살수기는 매우 다양한 종류로 발전되어 왔다. 대부분의 살수기는 회전식이거나 고정헤드식(fixed-head)이다. 회전식 살수기는 충격식, 기어구동식, 반동식 살수기가 있으며, 고정헤드식 살수기는 최근 많이 사용되고 있는 스프레이형태의 살수기를 포함하고 있다.

표 2.1.10 살수기의 종류

| 종류 | 특성 |
|-----------|--|
| 충격식 살수기 | <ul style="list-style-type: none"> - 물을 대기중으로 분사하는 노즐을 하나 또는 여러 개를 가지고 있음 - 분출구는 스프링의 충격에 의해 시작과 정지를 반복하면서 회전하며 관개수가 분출구를 통해 분사 - 스프링이 분출구를 통해 분사되는 물줄기에 의해 되돌아오는 과정이 반복 |
| 기어구동식 살수기 | <ul style="list-style-type: none"> - 회전식 살수기중 살수기의 기반부에 있는 작은 수압터빈에 의해 구동되는 살수기로 일련의 기어에 의해 터빈의 빠른 회전속도를 감속 - 살수기의 종축을 회전하는 하나 또는 여러 개의 분출구를 가지고 있음 - 충격식 살수와 달리 멈춤없이 계속적으로 회전 |
| 반동식 살수기 | <ul style="list-style-type: none"> - 반동식 살수기는 분출구로부터 관개용수가 분사되는 반작용에 의해 발생하는 토크에 의해 회전 - 살수기는 2개 또는 3개의 긴 팔 끝에는 노즐이 있으며 여기에서 60또는 그 이상의 rev/min. 로 물을 분사 - 매우 낮은 압력인 70~210kPa의 압력에서 운용되며 관개율은 시간당 15~30mm정도로 높고 매우 다양함 |
| 고정헤드식 살수기 | <ul style="list-style-type: none"> - 부드럽고 홈이 파인 원뿔체, 편향된 판, 살수기주위에 용수를 공급하는 원형 형태의 살수홈이나 여러 개의 작은 분사구로 구성 - 중심선회 및 직선이동 관개시스템에서 사용되는 210kPa보다 낮은 압력에서 운용됨 |

운용압력과 노즐출구, 모양, 각도 등의 노즐 형태가 살수기를 운용하는 가장 중요한 요인이다. 살수기의 성능은 용량, 살수거리, 살수분포, 관개율, 물방울 크기등으로 표현된다.

(2) 살수관개시스템의 관

살수관개시스템에서의 관은 보통 압력을 받게 되며, 간선, 보조간선, 지선, 지거로 구분되어 진다. 간선은 수원공으로부터 물을 보조간선으로 공급하며, 보조간선은 간선으로부터 지선으로 지거는 지선으로부터 살수기로 물을 공급한다. 일부 시스템은 보조간선이나 지선이 없을 수도 있으며, 이럴 경우에는 간선에 직접 지거가 연결된다. 관은 살수기나 지거에 설계압력으로 관개용수를 공급할 수 있도록 운용압력이나 수격압을 견딜수 있도록 충분히 튼튼해야 하며, 시스템의 다른 구성요소들과 동일하거나 그 이상의 수명을 가지고 있어야 한다. 매장되는 관은 표면에서의 초과압력이나 동하중을 견딜수 있어야 하며, 반면에 이동식

지거나 간선은 가볍고 견고하여야 한다.

나. 관개율과 살수관개시스템의 용량 설계

(1) 관개율

관개율은 토양면에서의 침투율보다 작아야 하는데 이것이 상한선이다. 하한선은 노즐에서 물이 바람으로 손실되는 양과 증발량이다. 노즐의 용량은 관개용수가 바람에 날라가거나 증발에 의해 손실되는 양을 고려하고 관개용수를 근근역으로 침투시킬 수 있을 만큼 충분히 커야 한다.

평균 관개율은 지거과 간선의 지형을 고려한 포장에 공급되는 관개용수의 양으로 변환되는 노즐의 용량이며, 아래의 식과 같다.

$$d_g = \{q/[s_1 \times s_m]\}360 \quad (2.1.1)$$

여기서, d_g 는 관개율(cm/h), q 는 노즐의 용량(L/s), s_1 은 지거 사이의 간격(m), 그리고 s_m 은 간선에서의 지거 간격(m)이다. 관개율의 일부는 증발과 바람의 영향에 의해 손실되며, 나머지만 토양면에 관개된다. 토양면에 공급되는 관개량을 순관개율이라고 하며 다음 식과 같다.

$$d_n = d_g(1 - L_s) \quad (2.1.2)$$

여기서, d_n 은 순관개율(mm/h)이며, L_s 는 증발과 바람에 의한 손실율이다.

기후조건에 따른 최소 관개율과 토성과 경사에 따른 최대 순관개율 지표를 다음의 표에 나타내었다. 이 지표에는 관개시스템의 추천 침투율을 포함하고 있다. 그러나, 가능하다면 표에 나타난 일반적인 지표대신에 특정지역의 정보를 이용하여 순관개율을 결정하여야 한다.

표 2.1.11 기후조건에 따른 최소 관개율(USDA-SCS, 1984)

| Climatic Zone | Minimum Gross Application Rate(cm/h) | |
|----------------------|--------------------------------------|------|
| | From | To |
| Cool Maritime | 0.25 | 0.40 |
| Warm Maritime | 0.40 | 0.50 |
| Cool Dry Continental | 0.40 | 0.50 |
| Warm Dry Continental | 0.50 | 0.75 |
| Cool Desert | 0.75 | 1.25 |
| Hot Desert | 1.25 | 1.90 |

표 2.1.12 토양 특성 및 경사에 따른 스프링클러 관개율(Cuenca, 1989)

| Soil Texture and Profile | 0-5% slope cm/h | 5-8% slope cm/h | 8-12% slope cm/h | 12-16% slope cm/h |
|--|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| Coarse sandy soil to 2m | 5.0 | 3.8 | 2.5 | 1.3 |
| Coarse sandy soils over more compact soils | 3.8 | 2.5 | 1.9 | 1.0 |
| Light sandy loams to 2m | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 |
| Light sandy loams over more compact soils | 1.9 | 1.3 | 1.0 | 0.8 |
| Silt loams to 2m | 1.3 | 1.0 | 0.8 | 0.5 |
| Silt loams over more compact soils | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.3 |
| Heavy textured clays or clay loams | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 |

(2) 관개시스템 용량

시스템의 용량은 운용일정에 따른 특정지역에 관개하기 위해 필요한 연속 유량과 동일하다. 이것은 관개율, 면적, 운용일정에 따라 추정되어지며 아래의 식과 같다.

$$Q = 2.778[GIR(A)]/[N_{op}(T_{op})] \tag{2.1.3}$$

여기서 Q는 필요한 유량(L/s), GIR는 필요수량(mm), A는 전체 관개면적(ha), N_{op} 는 1회 관개에 필요한 날짜(d), T_{op} 는 하루에 관개시스템을 운영하는 시간(h/d)이다. 살수기의 개수는 시스템의 용량에서 선택된 노즐의 설계용량으로 나눈 값으로 추정되며 다음 식과 같다.

$$n = \frac{Q}{q} \tag{2.1.4}$$

여기서, n은 살수기 개수, q는 선택된 노즐의 설계용량(L/s)이다..

시스템의 용량과 필요한 살수기의 개수는 위의 두 식으로 개략적으로 추정될 수 있다. 그러나, 최종적인 설계를 위해서는 살수기와 지거의 간격을 실제 포장에 적용하여야 한다. 지거와 간선의 구성을 통해 살수기의 실제 개수를 결정할 수 있다. 노즐의 수와 노즐의 설계용량은 최종적인 시스템의 용량을 결정할 수 있다. 일반적으로 위 식에 의한 결과는 특별한 형태의 경계를 가진 포장을 제외한 실제 결과와 매우 근접하다.

다. 살수기 설계

(1) 살수기 용량

살수기 용량은 살수기를 통해 배출되는 시간당 체적을 나타낸다. 다음 식은 살수기용량과 운용압력 및 노즐 직경과의 관계를 나타낸 것이다.

$$q = \sum_{i=1}^n K_u C_i a_i p_i^{x_i} \quad (2.1.5)$$

여기서, q 는 살수기 용량, n 은 노즐의 개수, K_u 는 상수, C 는 i 번째 노즐에서의 배출구 모양과 거친 정도에 따른 계수, a 는 i 번째 노즐에서의 출구 면적, p 는 i 번째 노즐에서의 운용압력, x 는 i 번째 노즐에서의 지수를 뜻한다. 따라서, 여러개의 노즐을 가진 살수기의 용량은 노즐 용량의 합으로 계산된다. 각 노즐에서 C 와 x 는 경험적으로 결정된다. 대부분의 살수기에서 x 는 0.5의 값을 가지는데, 보다 높은 압력과 보다 큰 노즐 면적은 살수기 용량을 증가시키는데, 노즐각은 살수기의 용량과 관련이 없다. 위식은 다음 식으로 변환될 수 있다.

$$q = K(p)^{1/2} \quad (2.1.6)$$

여기서, q 는 살수기 용량(L/s), p 는 노즐의 운용압력(kPa), K 는 노즐의 모델과 직경에 따른 비선형 비례상수를 뜻한다. 비례상수 K 값은 노즐의 용량에 따라 다양한 범위로 변화한다. 여러 가지 노즐 모델 특성에 따라 살수기 제작업체에서는 적절한 설계절차표를 제공하고 있다.

(2) 살수기 간격

· 증발손실 및 비산 손실(wind drift)

아래 그림은 풍속이 관개하는 동안 살수분포에 얼마나 큰 영향을 미치는 가를 나타내고 있다. 풍속이 클 경우 살수기 노즐의 물방울은 포장에 도달하기 이전에 관개하는 포장에서 날라가 버린다. 이런 것을 비산 손실이라고 한다. 이런 비산손실은 작물의 높이로부터 노즐의 위치가 높ی 있을수록 풍속이 클수록 큰 양을 나타낸다.

증발 손실은 보다 복잡하며 때로는 오해되고 있다. 작물에서 증발되는 과정은 토양-작물-대기 연속체를 포함하는 보다 복잡한 과정이다. 엽면에서 수분이 증발하는 것은 대기과 엽면의 수증기압 차에 의한 것이다. 작물을 통해 이동하는 수분의 양은 토양포텐셜과 작물의 수분스트레스에 의해 결정된다. 증발손실은 살수기 노즐에서부터 지표로 이동하는 작은 물방울이 공기중에서 발생하는 것이다. 높은 운용압력에서 발생하는 보다 작은 물방울이 지표에서 더 많은 증발손실이 일어나는 것을 나타내는 것이다. 대기 중에서의 상대습도가 낮을수록 물방울이 기화하는 힘이 더 커진다. 따라서 증발손실은 관개면적에서의 노즐 직경, 운용압력, 상대습도의 함수로 나타낼 수 있다.

증발손실효과 측정의 어려움은 운용압력, 노즐직경, 풍속, 기온, 상대습도 등 다양한 조건 하에서 수집캔(catch can)을 이용하여 포장시험을 시행하여야 하기 때문이다. 살수기를 통과하는 물의 양은 측정이 되지만 수집캔에서는 비산이나 증발에 의한 손실을 측정할 수 없기 때문이다. 물방울의 증발량은 손실이나 또는 작물위에서의 필요한 수증기압을 고려하여 결정되어 질수 있다.

이것은 일반적으로 비산손실이나 증발손실의 양으로 간주하지 않는다. 수집캔으로 물이 들어가는지 아닌지 확신할 수 없으며, 이 방법은 일반적으로 작물 캐노피로 인해 실제손실

보다 크게 산정되기 때문이다. 관개 필요수량의 일부분은 손실을 계산함으로써 결정될 수 있는데, 이것은 작물 캐노피 위의 근접지점에서 즉각적으로 일어나기 때문이며, 이것은 증발손실의 경우에만 사실이다.

설계에 필요한 경험적인 고려에 의해 이번 절에서 증발손실이나 비산손실의 양을 추정하는 전통적인 방법을 사용할 것이다. 이 방법은 손실을 과대하게 산정할 수 있으나, 안정된 설계를 할 수 있다. 보다 정확하게 비산손실량 및 증발손실량을 파악한다면 관개시스템의 운용조건에서 보다 높은 관개효율을 이끌어 낼 수 있을 것이다.

트리머(trimmer)는 다양한 계산도표 축들과 회귀식을 이용하여 서로 상관있는 축 들 사이의 관계를 컴퓨터를 이용하여 디지털화 하였다. 증발 및 비산손실의 최종적인 식은 회귀식에 의해 개발되었다.

증기압의 부족식은 다음 식으로 나타낼 수 있는데,

$$e_s - e_a = 0.61 \exp[17.27T/(T + 237.3)](1 - RH) \quad (2.1.7)$$

여기서, $e_s - e_a$ 는 증기압차(kPa), T는 기온(C), RH는 상대습도를 나타내는 것이다.

증발 및 비산손실에 대한 최종식은 다음과 같다.

$$L_s = [1.98(D_n)^{-0.72} + 0.22(e_s - e_a)^{0.63} + 3.6 \times 10^{-4}(p)^{1.16} + 0.14(U)^{0.7}]^{4.2} \quad (2.1.8)$$

여기서, L_s 는 증발 및 비산손실율(%), D_n 은 노즐 직경(mm), p는 노즐 압력(kPa), U는 풍속(m/s)을 나타내는 것이다.

• 풍속효과(Wind effects)

바람의 조건은 살수관개시스템의 적용형태에 큰 역할을 할 수 있다. 계속 발생하는 큰 풍속의 바람은 살수관개시스템의 효과적인 적용을 불가능하게 하며, 살수관개시스템을 야간과 같이 상대적으로 낮은 풍속이 발생하는 조건하에서만 한계적으로 사용하도록 만든다. 이는 살수기를 통한 관개용수의 단면을 나타낸 것이다. 바람이 없거나 낮은 풍속일 경우에는 적절한 운용압력을 유지하였을 때 중앙집중적인 살수심의 형태와 삼각형의 살수분포를 명백하게 나타낸다. 아래 그림은 풍속이 클 경우를 나타내는데, 살수분포가 극단적으로 왜곡되어 있는 것을 나타낸다. 이 결과는 단면도에서 일정하지 않은 살수분포를 나타내는 것이다. 예상풍속은 관개시스템 설계시에 고려되어야 하며, 풍속이 증가할 수록 지거에서의 노즐간격과 지거사이의 간격을 점점 줄여야 한다.

• 바람 기준

살수 분포형태에서의 풍속의 효과를 나타낸 것이다. 균등한 관개는 평균 풍속이 증가할수록 살수기 노즐간의 간격을 줄임으로써 유지될 수 있다. 주간풍속은 일반적으로 야간풍속에 비해 크므로, 살수기 노즐을 주간 및 야간 모두 사용할 경우에 주간 풍속을 기준으로 한 살수기의 간격 설계는 안전한 설계이다. 주간-야간 풍속의 가중평균을 사용하는 것도 가능하

다. 이는 시스템운용에 있어서 경작자에게 위험영향을 줄 수 있기 때문에 경작자와 설계자가 동의하여야 한다. 24시간 평균 풍속의 사용은 일반적으로 전 생육기간동안의 바람효과와 균형잡힌 설계결과를 가져온다.

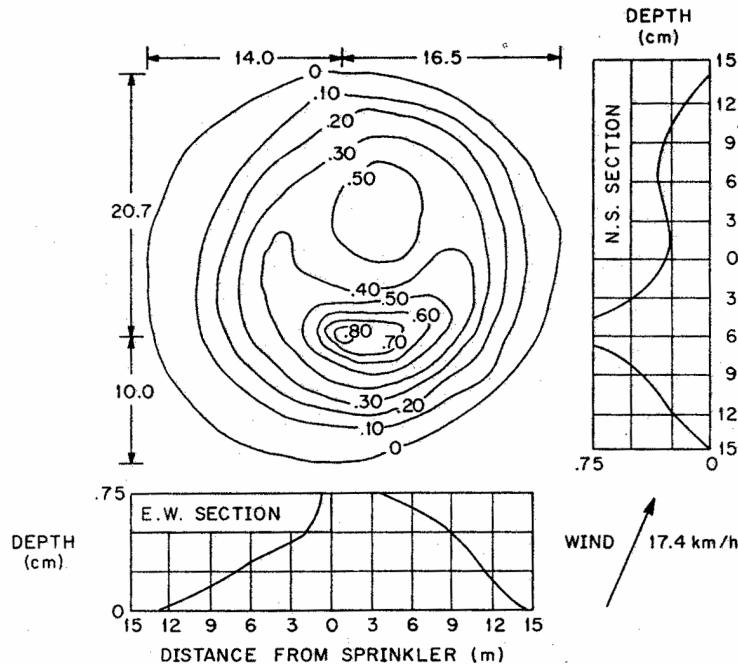


그림 2.1.29 풍속에 따른 스프링클러 분포패턴의 영향,
노즐은 0위치(USDA-SCS, 1983)

다음의 표는 주 풍속의 함수로써 관개면적에 대한 지거 및 간선의 추천 간격비를 나타내고 있다. 장비공급업체의 일람표 중 가능 관개면적값은 바람이 없는 조건일 경우의 값이다. 가능한 지거 및 간선간격을 알고 있을 때 살수기 노즐의 관개면적을 계산하는데 사용될 수 있다. 지거 및 간선간격의 가능값은 다양한 작물, 다양한 지리조건하에서 일반적으로 사용되어 지는 간격과 장비공급업체의 관 길이를 나타내는 것이다. 지거 및 간선간격을 줄임으로써 적용의 균등가능성은 높아지나, 보다 큰 설치비와 운영비가 든다.

여러 직사각형 간격에서 풍속, 간격, 이중 노즐살수기에서의 운용압력에 따른 균등계수의 변화를 나타낸다. 다음 그림에서 나타나는 것은 일반적인 것인데, 균등계수는 풍속과 살수기의 간격이 증가할수록 낮아진다. 운용압력이 증가할수록 균등계수는 조금 증가하는 것으로 나타난다. 운용압력은 장비제작업체에서 추천하는 최소 운용압력을 나타내는 것이다.

설계 간격배치는 간선간격에 따른 지거간격을 나타낸다. 식 (2.1.1)과 (2.1.2)는 주어진 압력에서의 노즐, 노즐 용량과 살수기 간격에 따른 전체 관개량 및 순관개량을 나타낸 것이다. 살수기 간격에 변화가 생겼을 경우에는 최대 및 최소한계사이에서 관개량을 조정하여야 한다.

간선간격은 간선과 지거사이의 연결장치의 가격을 줄이기 위하여 지거간격보다 일반적으로 크다. 주어진 목표 균등계수를 얻기 위해서는 살수기 간격을 조절하여야 한다. 균등계수를 나타내었으며, 높은 가격의 특용작물은 풍속에 따라 9m x 12m, 12m x 12m, 9m x 15m

등 좁은 간격은 보장하여야 한다. 중간 가격의 보통 작물에서는 간격을 풍속에 따라 12m x 15m, 15m x 15m, 12m x 18m로 증가한다. 가장 넓은 간격은 과수작물에 사용된다. 읍셋의 사용은 균등계수를 5%에서 15% 증가시키는데, 이것은 보다 경제적이며 균등계수의 저하 없이 간격을 넓힐 수 있다.

표 2.1.13 s_1 , s_m 와 D_w 에 따른 스프링클러의 간격(USDA-SCS, 1983)

| Wind speed (km/h) | Sprinkler spacing, decimal | |
|----------------------|----------------------------|-----------|
| | s_1/D_w | s_m/D_w |
| 0-8 | 0.60 | 0.65 |
| 8-16 | 0.50 | 0.50 |
| 16 and above | 0.35 | 0.50 |

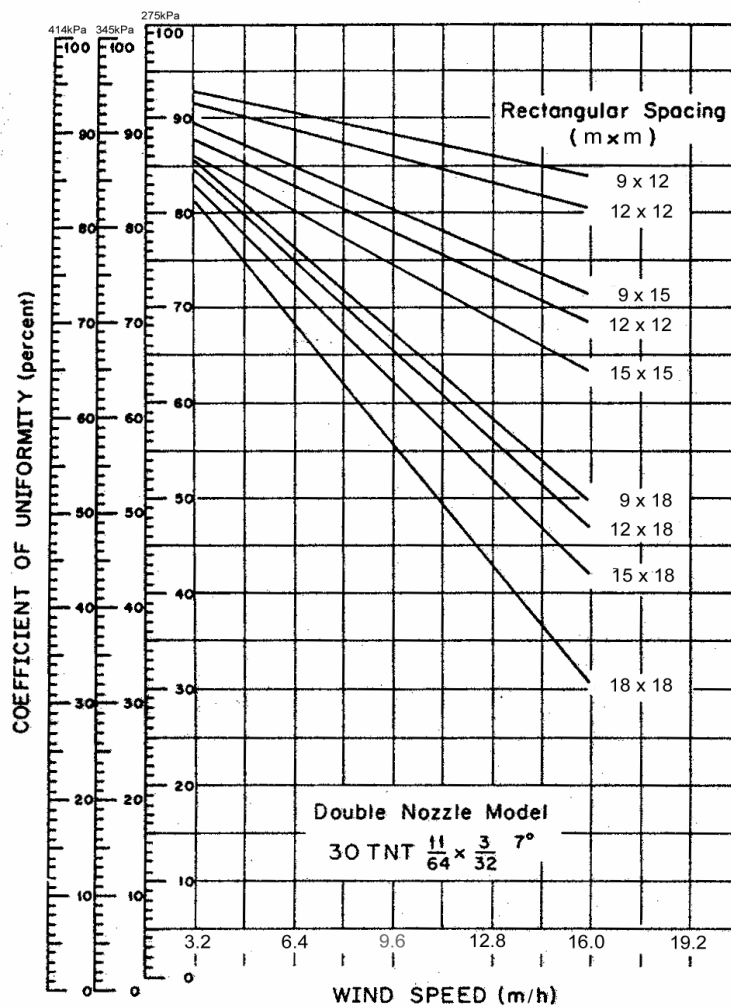


그림 2.1.30 double nozzle sprinkler model에서 풍속과 간격, 압력에 따른 uniformity coefficient의 변화(After Cuenca, 1989)

(3) 관개의 균등성

· 압력 효과

관개 균등성은 선택된 살수기 노즐 직경, 바람 효과, 살수기 간격에 따른 운용압력에 달려 있다. 운용압력의 효과를 다음 그림에 살수기 노즐로부터 거리에 따른 관개 살수심의 단면도로 나타내었다. 압력이 너무 낮으면 물줄기가 적절하지 않게 끊기는 현상이 발생해 도넛 형태의 살수분포 결과를 나타낸다. 노즐에서의 압력이 너무 높으면 물줄기는 지나치게 물방울의 크기가 작아 설계 관개면적범위까지 관개용수가 도달하지 못한다. 따라서, 노즐에 근접한 지역에 관개량이 지나치게 집중된다. 그림에 압력이 너무 높거나 낮은 조건하에서 포장 특정부위의 부적절한 살수심을 나타내고 있다. 제한적인 관개량의 효과는 작물생육형태를 관찰함으로써 시각적으로 알 수 있다. 같은 조건하에서는 살수기를 따라 작물생육이 우세한 형태를 나타낸다. 성장이 부진한 작물라인은 살수기 라인과 평행하게 나타나는데, 이는 적절치 못한 운용압력을 나타내는 것이다. 만약 압력이 너무 높을 경우에는 성장이 부진한 곳은 지거사이의 중간에 나타나는데, 이는 설계 관개면적에 도달하지 못하기 때문이다. 압력이 너무 낮은 경우에는 지거 사이와 가까운 곳 두곳에 성장이 부진한 작물라인이 나타난다.

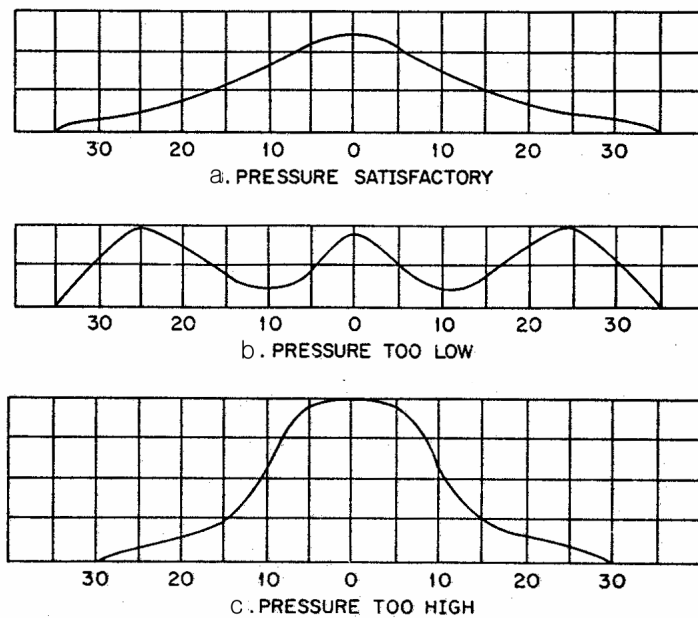


그림 2.1.31 작동 압력에 따른 스프링클러 분포패턴의 변화(USDA-SCS, 1983)

적절한 압력에 의해 운용되고 있을 경우, 살수심의 단면형태는 대부분의 살수기 노즐에 의해 삼각형 형태를 나타낸다. 주위 지거에서의 살수기로부터 비슷한 삼각형 형태의 살수분포가 나타나 서로 겹쳐질 경우에는 다음 그림처럼 균등한 살수분포가 가능하다. 그림에서 각 0지점은 간선을 따라 s_m 간격에 따라 인접 지거와의 간격을 나타내는 것이다. 이를 살펴보면, 완벽하게 균등한 살수분포를 나타내는 것은 불가능하다는 것을 알 수 있다. 설계자들은 관개시스템의 가격에 따라 균등정도를 균형있게 맞추어야 할 것이다. 다음 그림은 지거

를 따라 인접 살수기의 살수 중복형태의 효과를 나타내는 것이다. 여기에서 가로좌표의 0지점은 살수기 노즐의 위치를 나타내는데, 서로간의 거리는 지거에 위치하는 노즐사이의 간격 s_1 동일하다.

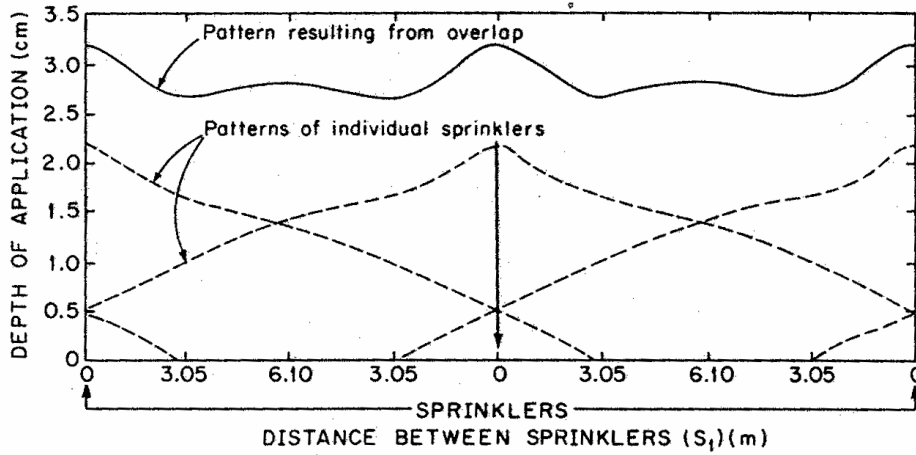


그림 2.1.32 스프링클러의 중첩에 따른 관개용수의 분포(USDA-SCS, 1983)

• 균등계수

살수관개시스템에서의 균등성을 평가하는 방법들은 개발되어 왔다. 이 방법들은 포장에서 물받이 캔의 설치를 필요로 한다. 각 캔에서 수집된 관개용수의 깊이는 관개가 끝난 후에 측정되어 진다.

균등계수를 계산하는 방법으로 두 개의 식이 주로 사용된다. 첫 번째 방법은 Christiansen의 균등계수로 다음과 같다.

$$UC_C = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{[abs(x_i - \bar{x})]}{(n\bar{x})} \quad (2.1.9)$$

여기서, UC_C 는 Christiansen의 균등계수이며, x_i 은 i 번째 캔에서 수집된 물의 깊이(mm), \bar{x} 는 평균살수깊이(mm), n 은 캔의 숫자를 뜻한다.

균등성을 산정하는 두 번째 방법은 하와이사탕수수경작협회(Hawaiian Sugar Planters Association (HSPA))의 균등계수로 다음 식으로 표현된다.

$$UC_H = 1 - [2/\pi]^{0.5} (s/\sqrt{\bar{x}}) \quad (2.1.10)$$

여기서, UC_H 는 HSPA 균등계수, s 는 수집된 물의 깊이의 표준편차(mm)를 말한다.

단일 살수기에서 균등성을 실험하는 기본 과정은 관개면적 안에 최소 80개의 물받이 캔을 격자형으로 설치하는 것이다. 최소 물받이 캔의 직경은 80mm이다. 측정하고자 하는 살수기

는 격자의 중심에 있는 네 개의 캔 중간에 위치시키며, 인접한 네 개의 캔 평균 높이의 0.6m 위에 위치시킨다. 노즐의 직경과 압력, 살수기 라이저에서의 압력, 살수기 유량, 회전 속도를 정확하게 측정하여야 한다. 필요한 자료로는 풍속과 풍향, 건습구 온도 등이며, 추천 측정시간은 한시간이다.

지거사이의 중복없이 주어진 시간동안 단일 지거에서의 관개시스템의 균등성을 파악하는데 필요한 물받이 캔의 형태를 나타내는 것이다. 물받이 캔의 최소 숫자와 상호간의 최대 간격은 격자시스템과 동일하다. 지거에 따른 최소 세 개의 살수기의 용량은 물받이 캔 격자에 의해 측정되어 질 수 있다. 중심선회시스템이나 선형이동시스템에서 균등성을 측정하는 다른 측정기준은 나중에 다시 논의 할 것이다.

일반적으로 균등계수의 적용에서 있어 살수분포형태가 정규분포를 따른다고 간주한다. 만약, 살수분포가 정규분포한다면, 위의 두 식은 동일하다. 사실, 포장에서의 물받이 캔 자료가 정규 분포한다고 가정할 때 확인할 수 있다.

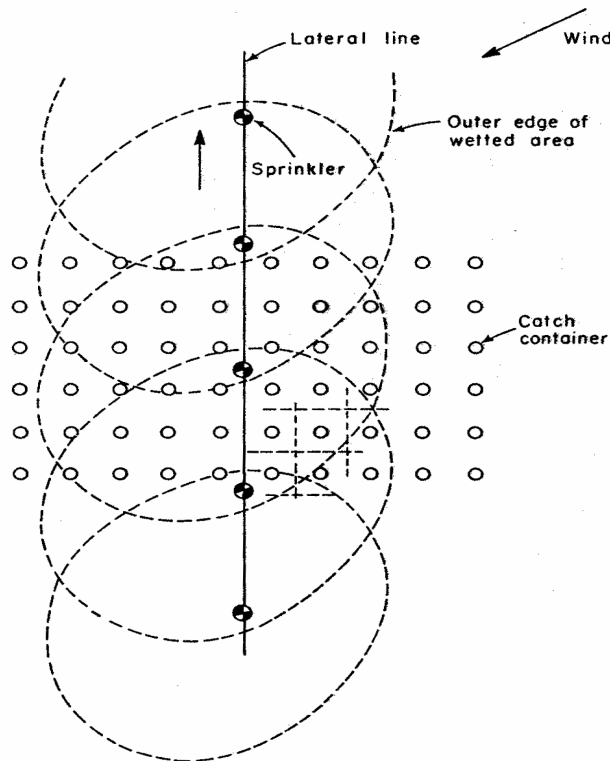


그림 2.1.33 중첩 작동이 없는 상태에서의
uniformity coefficient 결정을 위한 물받이 캔의
배열(USDA-SCS, 1983)

(4) 관개의 정확성

· 관개의 정확성

주어진 시간에서의 순용수량은 지난 관개기 이후부터의 작물필요수량에서 토양중으로 침투된 강우량 즉, 유효수량을 제외한 값과 동일하다. 개개 살수기 노즐의 살수분포 중첩으로 인해 포장 특정부분의 살수심이 다른 부분에 비해 보다 크게 나타난다는 것을 알 수 있다.

정확성의 개념은 최소한 순용수량만큼 관개받는 포장의 면적비율이 얼마만큼 인가로 정의되어 질 수 있다. 순용수량보다 동일하거나 큰 살수심을 관개 받은 포장부분은 정확하게 관개되었다고 할 수 있다. 포장의 다른 부분은 관개가 적게 이루어진 것이다. 포장에서 어떤 지점은 최대 관개량을 받는 지점을 나타내고 있다. 순용수량보다 많은 관개가 이루어졌을 경우에는 침투가 발생한다. 포장의 25%가 최소한 순용수량만큼 관개가 이루어졌을 때는 25%의 정확도를 가진다고 할 수 있다. 관개분포의 정확성과 균등성의 관계는 살수관개시스템에서의 침투량으로 결정되어 진다.

정확성, 균등성, 침투량과의 상호관계를 아래 그림에서 나타내었다. 이 그림은 정확도가 50%이고, 균등계수가 80%일때 관개부족지역의 비율과 침투되는 량의 비율을 나타낸 것이다. 만약 순용수량이 1cm일때, 91%가 근근역에 저장되며, 9%는 주어진 조건하에서 침투가 발생한다. 정의에 의해 포장의 50%는 관개부족지역이다.

정확도가 50%로 동일할 경우에 균등계수의 함수로 작물의 수분스트레스량과 침투량과의 변화를 나타낸 것이다. 세 개의 그림 중 균등계수가 70%일때 침투량이 최대이며, 관개부족으로 인한 작물 수분스트레스정도도 가장 높은 정도를 나타낸다. 반대로 90% 균등계수일때 침투량은 가장 적은 값을 나타내며, 작물의 수분스트레스 정도도 가장 낮은 값을 나타내었다. 보다 높은 균등계수를 가질 경우에 포장의 50%는 여전히 관개부족상태이지만 심각하지는 않다.

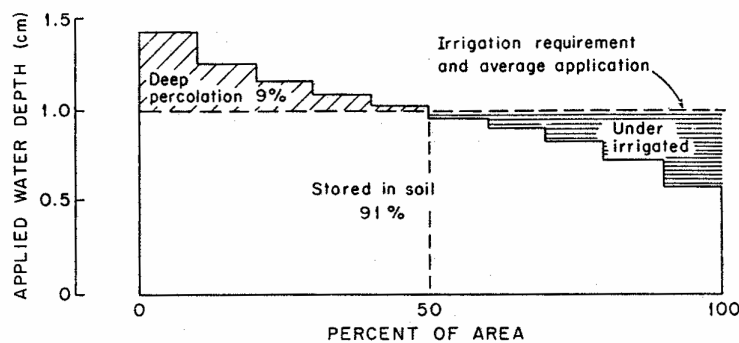


그림 2.1.34 정확도 50%, 균등계수 80%일 때 침투량(Shearer, 1978)

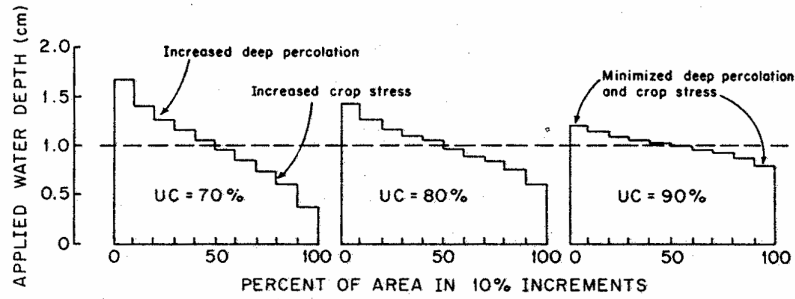


그림 2.1.35 정확도 50%인 경우 균등계수에 따른 수분스트레스와 침투량(Shearer, 1918)

95% 정확도와 84%의 균등계수 조건하에서 근근역에서 용수량의 분포형태를 그래프로 나타낸 것이다. 그림을 살펴보면, 관개필요수량은 2.0cm로 거리 G로 나타내고 있으며, 근근역에 저장된 관개량은 점선 위의 단면 A로써 나타내었다. 점선 아래의 단면 B는 침투량을 나타내는 것이며, C는 포장에서 관개부족수량을 나타내는 것이다. 이것은 관개분포가 정규분포를 따른다는 것을 가정한 것이다.

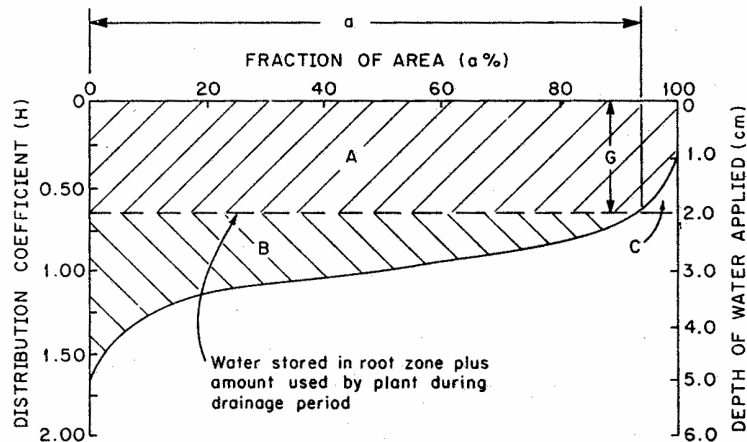


그림 2.1.36 95% 정확도와 84%의 균등계수 조건하에서 근근역에서 용수량의 분포형태(Hart and Reynolds, 1965)

• 균등성과 정확성의 조합

특정 살수관개시스템에 적용하기 위한 균등성 및 정확성의 설계기준은 살수기 장치의 가격, 작물가격, 총관개비용에 의해 결정되어 진다. 여기에는 관개용수의 가격과 운영비도 포함되어 있다. 균등계수는 일반적으로 간선과 지거 간격을 줄임으로써 감소하는데, 이 경우에는 보다 많은 지거, 밸브, 살수기 노즐을 필요로 하기 때문에 비용이 증가한다. 어떤 작물들은 다른 작물에 비해 수분스트레스에 덜 민감한 것도 있다. 이런 작물의 경우에는 경작자에게 심각한 경제적 손실없이 보다 낮은 정확도로 관개할 수 있다. 가격이 낮은 작물의 경우에도 심각한 경제적 영향 없이 보다 낮은 정확도로 관개할 수 있을 것이다.

균등성, 정확성, 작물의 경제적 가치, 관개시스템 비용과의 상호관계에 대한 적절한 조합

이 개발되어 왔다. 이 기준은 경제적인 관개시스템의 설계와 시공을 포장에 막대하게 실험함으로써 발전되어 왔다. 이 기준을 세가지 작물범주로 구분하면

- Field crops : UCC = 80percent a = 75 percent
- 과수 : UCC = 70percent a = 50 percent
- 특용작물 : UCC = 85percent a = 90 percent

이 기준은 살수관개시스템의 비용에 대비한 작물가격을 포함하고 있으며, 또한 토양포텐셜 경사에 따라 관개용수를 재분배하는 토양수분단면의 능력(ability of the soil water profile)도 포함하고 있다. 이것이 과수작물에 대한 기준의 이유인데, 과수작물은 작물간의 간격은 넓은 반면에 다른 범주의 작물에 비해 유효 근근역의 깊이가 낮기 때문이다.

· 조합 적용 및 배분효율

조합 효율은 관개장치를 통해 운반된 관개량과 근근역에 저장된 관개량의 비로 정의되어진다. 살수관개시스템에서의 관개장치는 살수기 노즐이다. 조합 효율은 유출손실을 제외하면 침투량과 증발 및 비산손실을 계산하여야 하며, 다음 식과 같다.

$$E_{cb} = (1 - L_d)(1 - L_s) \quad (2.1.11)$$

여기서, E_{cb} 는 조합 적용 및 배분효율, L_d 는 침투량 비 L_s 는 증발 및 비산손실 비이다.

다음 표는 포장실험을 통해 적절하게 설계된 관개시스템에서 균등계수값에 따른 잠재적인 조합효율 추정치를 나타낸 것이다. 특정관개시스템에서 침투량을 편중되게 하지 않기 위해서 정확도는 동일한 값을 사용하였다. 건조 및 습윤환경에서 적용되어지는 일반적인 증발 및 비산손실범위를 사용하고 있다. 지표관개시스템 및 점적관개시스템의 조합 효율은 비교 목적으로 사용하였다.

표 2.1.14 스프링클러 관개시스템에서 균등계수에 따른 잠재적인 조합효율(Cuenca, 1989)

| System | Uniformity Coefficient (%) | Adequacy (%) | Runoff (%) | Deep Percolation (%) | Evaporation and Wind Drift (%) | Combined Efficiency (%) |
|--|----------------------------|--------------|------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Hand-move and Side-roll (with offsets) | 82 | 75 | 0 | 18 | 15-8 | 70-75 |
| Solid set (low wind design) | 70 | 75 | 0 | 30 | 22-15 | 55-60 |
| Solid set (high wind design) | 82 | 75 | 0 | 18 | 22-15 | 65-70 |
| Center pivot and Linear move | 90 | 75 | 0 | 10 | 18-10 | 74-81 |
| Big gun (low wind design) | 65 | 75 | 0 | 35 | 5-3 | 62-63 |
| Big gun (high wind design) | 82 | 75 | 0 | 18 | 5-3 | 78-80 |
| Surface irrigation | | | | | | 20-90 |
| Drip systems | | | | | | ≥90 |

(5) 살수기 노즐 선택

식 (2.6)은 노즐에서의 압력과 유량과의 관계를 나타낸 것이다. 특정 모델에 대한 유량, 운용압력, 관개면적과의 관계를 나타내고 있다. 살수기 노즐을 선택하는데 있어서 여러 가지 고려해야 할 것이 있다. 낮은 압력에서 운영되는 노즐은 높은 압력에서 운영되는 노즐에 비해 운영비를 절감할 수 있다. 반면에, 낮은 압력에서 운영되는 노즐은 보다 작은 관개면적과 유량을 가진다.

그러나, 이것만 가지고는 불충분하다. 단일노즐 살수기는 이중노즐 살수기에 비해 풍속이 클 경우에 보다 높은 성능을 나타내는 경향이 있다. 반면에 풍속이 클 경우 이중노즐 살수기는 단일노즐 살수기보다 높은 균등계수를 나타낸다. 어쨌든, 이중노즐 살수기는 단일노즐 살수기에 비해 동일한 압력에서 운영될 때 유량이 증가하므로 균등성도 증가한다.

노즐 선택과정은 관개시스템의 물리적 요구에 따라 노즐의 운영특성을 맞추는 과정중의 하나이다. 노즐의 용량은 총관개량보다 커야한다. 순용수량은 적절한 관개계획에 따라 토양에서의 필요수량보다 충분히 커야 한다. 노즐의 선택은 노즐의 직경, 운영압력, 살수기 간격 등을 고려하여 기존의 경험을 살려 시행착오법을 이용한다.

3.3 지하배수 설계 기술

범용농지의 지하배수 설계는 [농업생산기반정비사업계획설계기준(배수편)]에서 다루는 조사, 지표배수 계획, 지하배수 계획, 배수시설의 유지관리 및 운영계획 등을 모두 포함하는 개념이다. 범용농지의 대상지구가 현재 어떤 조건인지 등에 따라 각 대상지구에 포함되어야 할 설계내용은 많이 다를 수 있다. 주로 지하배수 설계는 암거의 매설깊이, 암거의 매설간격, 암거의 관경 및 기울기 등의 설계를 말한다. 범용농지에서 지중에 매설한 구조물을 통한 지하관개 및 지하배수의 설계는 기본적으로 지표에서 유출·유입되는 수량(Rain fall, evapotranspiration)과 지하시설을 통한 유출·유입되는 수량(Irrigation, Drainage)과의 관계에서 적절한 지하수위 또는 토양함수량을 확보하기 위한 지하시설의 심도와 간격을 결정하는 문제로 요약할 수 있다.

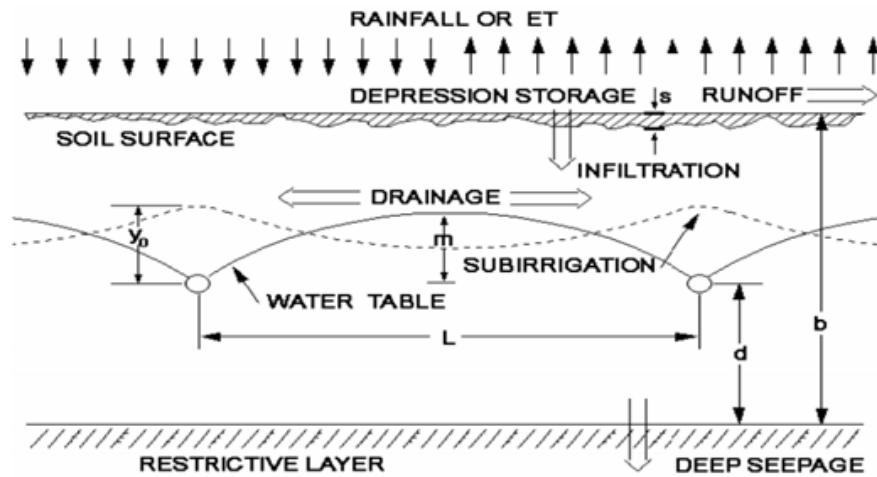


그림 2.1.37 범용농지에서 지하관개 및 지하배수 개요

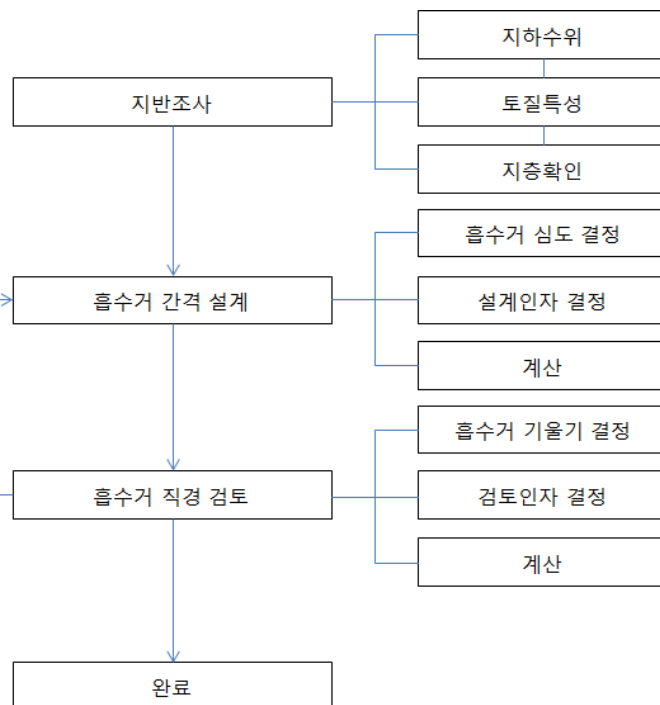


그림 2.1.38 범용농지에서 지하배수 설계 흐름

지하배수암거(흡수거)의 일반적인 설계흐름은 위의 그림과 같다. 암거의 간격을 결정하는 것이 지하배수의 가장 중요한 문제이며 이로부터 암거의 직경 및 기울기를 검토하여 설계가 완료된다.

가. 지하암거의 매설깊이

지하배수를 위한 암거의 간격은 원하는 시간에 원하는 목표 수위까지 지하수위를 저하시키기 위한 가장 중요한 설계요소이다. 이때 먼저 결정되어야 하는 것이 암거의 매설깊이이며 이는 저하시키기 원하는 목표 지하수위와 시공성 등과 관계가 깊다. 이 중에서 목표 지하수위는 토양수분예측에서 다루고 여기에서는 일반적인 사항만 다룬다. 이에 대한 [농업생산기반정비사업계획설계기준(배수편)]의 내용을 요약하면 다음과 같다.

흡수거(암거)의 매설깊이는 『지표면에서 계획지하수위까지의 깊이 + 여유심』으로 하며, 일반적으로 흡수거(암거)의 상류단에서 0.6m ~1.0m, 하류단에서 0.8m ~ 1.2m로 한다. 다만, 주흡수거의 상단부 매설깊이를 최소한 0.6m 이상으로 해야 한다.

흡수거(암거)의 간격은 지형, 토양조건 및 토지이용형태 등에 따라서 결정한다.

암거의 심도가 깊어지면 배수로 또는 집수거의 심도가 깊어지고, 소형펌프장의 매설깊이도 함께 깊어지면서 토공량이 과다해질 우려가 있다. 경지정리가 시행된 지구에서 흡수거 심도(말단부)를 답면하 1.0m로 하고, 관에서 배수로 바닥까지의 최소 깊이를 0.4m로 하면 배수지거의 깊이는 1.4m가 된다. 따라서 특수한 경우를 제외하고 주암거의 깊이를 논바닥 아래 1.0m이내로 하는 것이 바람직하다.

나. 암거의 간격 설계

암거의 매설깊이가 목표 지하수위 및 작업의 효율성 등에 의해 결정되는 것과 달리 암거의 매설간격을 결정하기 위해서는 비교적 많은 설계인자를 이용한 계산이 필요하다. 지하수위 조절을 위한 암거의 매설간격을 계산하기 위한 방법은 크게 정류(Steady-state method) 방정식(Hooghoudt, Kirkham equation)과 부정류(Transient method) 방정식(Schilfgaard, Kirkham equation)으로 구분할 수 있다.

(1) 정류방정식

다음 그림에서 나타내는 단면 A-A에서 일정한 강우량 R 에 대해서 지하수위 B 를 유지하는 문제가 된다. 이러한 흐름은 Darcy's law로 이해할 수 있다.

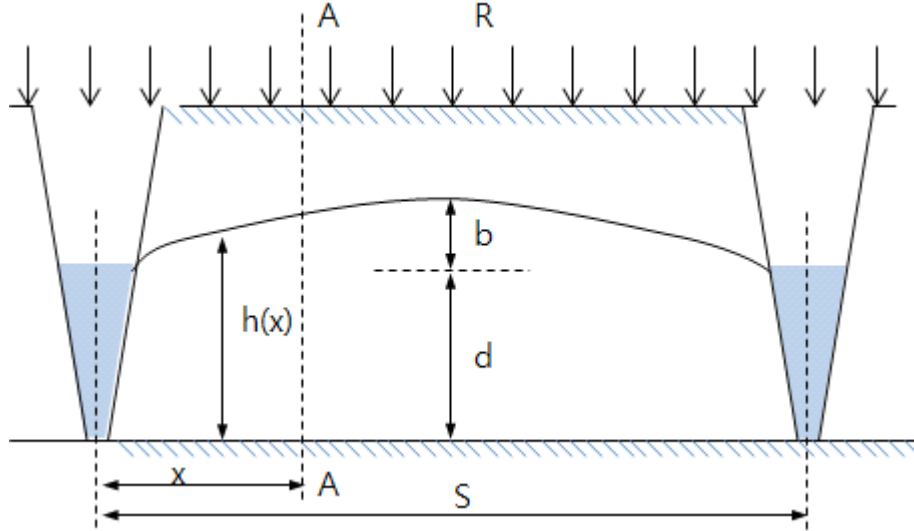


그림 2.1.39 정류방정식을 이용한 설계의 설계변수

Darcy's law에서 Hooghoudt는 다음과 같은 식을 유도하였다(van der Ploeg et al., 1999).

$$R = \frac{8Kdb + 4Kb^2}{S^2} \quad \text{or} \quad S = \left[\frac{8Kdb + 4Kb^2}{R} \right]^{1/2} \quad (2.1.12)$$

여기에서 K = 투수계수이며 나머지 변수는 그림에 표시하였다.

이 식의 한계는 흐름이 수평으로 고랑방향으로 향한다는 가정을 하고 있다는 것이다. 암거에 대해서는 연직방향의 성분이 나타나게 되므로 이를 고려할 필요가 있다. 따라서 토층의 두께를 감소시키게 되면 이러한 측면을 고려할 수 있으며 유효깊이(effective depth, d_e)를 고려하게 된다.

$$d_e = \frac{\pi S}{8 \left(\log_e \left(\frac{S}{\pi r_e} \right) + F(x) \right)} \quad \text{for} \quad x = \frac{2\pi d}{S} \quad (2.1.13)$$

$$F(x) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \log_e [\coth(nx)] \quad (2.1.14)$$

$$= \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4e^{-2/x}}{i(1 - e^{-2/x})} \quad (n = 1, 2, 3, \dots), (i = 1, 3, 5, \dots)$$

여기에서 $x < 0.5$ 인 경우에 $F(x)$ 는 다음의 근사식으로 구할 수 있다.

$$F(x) = \frac{\pi^2}{4x} + \log_e \left(\frac{x}{2\pi} \right) \quad (2.1.15)$$

여기에서 r_e 는 암거 파이프의 유효반경(effective radius)로 유입될 수 있는 파이프 벽의 구멍을 의미한다. 따라서 식 (2.1.12)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$S = \left[\frac{8Kd_e b + 4Kb^2}{R} \right]^{1/2} \quad (2.1.16)$$

설계를 위해서는 먼저 과정은 먼저 설계에 적합한 배수계수(drainage coefficient)를 결정하여야 한다. 배수계수는 「배수편」에서 “계획암거배수량”으로 표현되고 있으며 이는 다음 절에서 다룬다.

설계과정은 먼저 d_e 를 가정하고 식 (4.5)을 이용하여 S 를 구한다. 그리고 식 (2.1.13), (2.1.14), (2.1.15)를 이용하여 d_e 를 구하고 가정한 값과 비교한다. 값이 다른 경우 나중에 구한 d_e 값으로 S 를 다시 구하고 d_e 가 같아질 때까지 반복하고 이때 S 가 설계값이 된다.

아래 표는 일반적인 암거에 대한 유효반경을 나타낸다. 하지만 국내에서 생산되는 제품이 나 주문 제작되는 제품에 대한 유효반경에 대해서는 추가로 검토할 필요가 있을 것이다.

표 2.1.15 암거의 유효반경(Delmar D. et al.)

| Drain | Outside Dia.(mm) | r_e (mm) |
|--|------------------|------------|
| Corrugated plastic | 89 | 3.5 |
| Corrugated plastic | 114 | 5.1 |
| Corrugated plastic with synthetic envelop of filter | 114 | 40.0 |
| Corrugated plastic | 140 | 10.3 |
| Corrugated plastic | 165 | 14.7 |
| Clay with 1.6-mm joints | 127 | 3.0 |
| Clay with 3.2-mm joints | 127 | 4.8 |
| Corrugated plastic surrounded by a gravel envelop (Cross section of 2a length on each side) | 2a | 1.175a |

* Cross section of 2a length on each side

(2) 부정류방정식

정류방정식에서는 배수계수를 강우량과 동일하게 설정한다. 그러나 지표유출이 발생하는 강우가 발생하는 환경에서는 적용하기 어렵다. 예를 들어 100mm/day의 강우에 대하여 이를 배제하기 위한 암거 설계를 한다면 매우 비경제적인 결과가 되며 합리적이지 못하게 된다. 이러한 경우에 대하여 부정류방정식을 적용할 수 있다. van Schilfgaard(1963)은 지하수위를 낮추기 위한 Boussinesq equation의 해로 다음의 식을 제시하였다.

$$S = \left[\frac{9Ktd_e}{f \log_e \left(\frac{b_0[2d_e + b]}{b[2d_e + b_0]} \right)} \right]^{1/2} \quad (2.17)$$

여기에서 t 는 목표하는 지하수위로 낮추기 위해 필요한 시간이다. K 는 투수계수(m/day), d_e 는 불투수층까지의 유효깊이(m)이다. f 는 유효간극률(drainable porosity)이외의 변수는 다음 그림과 같고 계산 순서는 정류방정식과 동일하다.

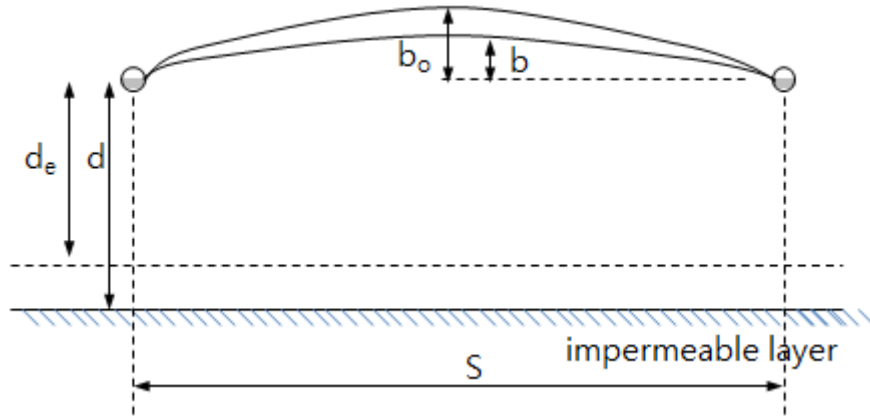


그림 2.1.40 부정류방정식을 이용한 설계의 설계변수

유효간극률은 지하배수에 의해 토층에서 배수되는 수량으로 인해 저하되는 지하수위에 영향을 미치는 변수이다. 이에 대한 이해를 위해서는 다음의 그림과 같이 지하수위 저하에 따른 토층에서의 수량 및 공기량의 변화에 대하여 이해하여야 한다.

지하수위 상부의 토층은 일정량의 물과 공기를 함유하고 있으며 심도에 따라 다음 그림에서와 같은 분포를 형성하고 있으며, 지하배수에 의해 지하수위가 감소하면 그림과 같이 분포가 변하게 된다. 따라서 지하수위의 변화와 토층에서 배수되는 수량의 관계는 흙의 종류와 흙의 특성에 영향을 받는 변수이다. 하지만 유효간극률을 결정하는 시험법에 대해서는 명확하게 제시된 바가 없는 것으로 알려져 있다. 따라서 일반적으로 제시되는 값을 사용할 수 있고, 투수계수에 따른 값을 사용할 수 있다. 정의에 따르면 유효간극률은 다음과 같이 계산될 수 있다.

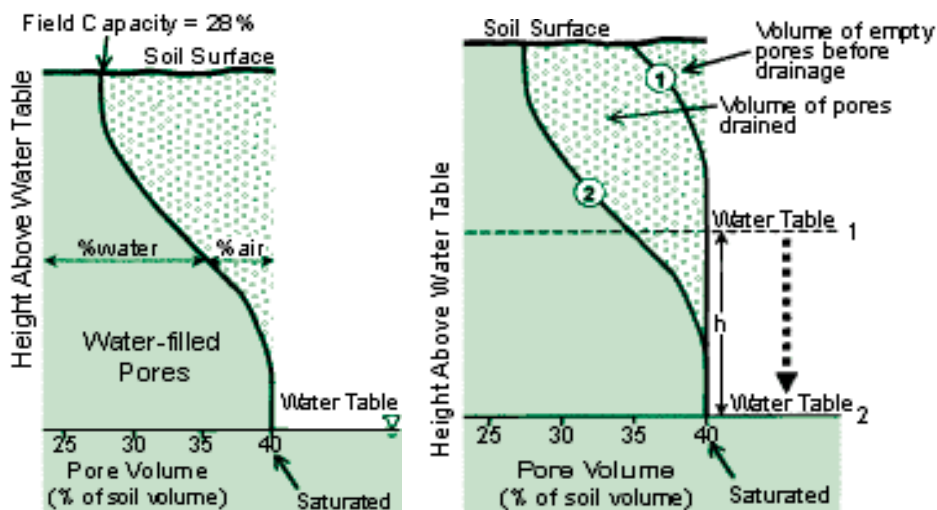


그림 2.1.41 지하수위 저하에 따른 유효간극률의 이해

$$\text{Drainable porosity} = \frac{\text{Drained volume}_{\text{depth1}} - \text{Drained volume}_{\text{depth2}}}{\text{Depth1} - \text{Depth2}} \quad (2.1.18)$$

유효간극률 10%는 지하수위를 10cm 낮추면 토층에서 1cm의 물이 배수된다는 것을 의미한다. 일반적으로 사용할 수 있는 토양특성에 따른 유효간극률의 범위는 다음 표와 같다.

표 2.1.16 토양특성에 따른 유효간극률(Water and Power Resources Services USBR Drainage Manual)

| Texture | Structure | Drainable porosity(%) |
|--|---|-----------------------|
| Clay, Heavy clay loam | Massive, very fine or fine columnar | 1-2 |
| Clay, Clay loam, Silty clay Sandy clay loam | Very fine or fine prismatic angular blocky or platy | 1-3 |
| Clay, Silty clay, Sandy clay, Silty clay loam Clay loam, Silty loam, Silt | Fine and medium prismatic, angular blocky and platy | 3-8 |
| Sandy clay loam, Light clay loam, Silt Silty loam, Very fine sandy loam, Loam | Medium prismatic and sub-angular blocky | 6-12 |
| Fine sandy loam, Sandy loam | Coarse sub-angular blocky and granular, fine crumb | 12-18 |
| Loamy sand, Fine sand | Medium crumb, single grain | 15-22 |
| Medium sand | Single grain | 22-26 |
| Coarse sand gravel | Single grain | 26-35 |

유효간극률의 정의에 따르면 토양의 투수계수에 영향을 받는 변수임을 알 수 있다. 다음의 그림은 Chossat and Saugnac(1985)[참고문헌 9]이 제시한 투수계수와 유효간극률의 관계를 나타낸다. 점토로 판단할 수 없는 경우에는 상기한 표에서와 같이 0.02(20%)내외의 값을 사용해도 무방하다. 범용화설계의 경우 현재 논으로 사용되는 농지에 대한 설계이므로 대부분 점토함량이 많으므로 다음 그림의 관계를 사용해도 무방하다.

$$\text{점토: } f = 0.025 + 0.006 \times K(\text{m/day}) \quad (2.1.19)$$

$$\text{점토함량} < 15\%: f = 0.0153 + 0.0176 \sqrt{K(\text{m/day})} \quad (2.1.20)$$

$$15\% < \text{점토함량} < 30\%: f = \exp(-3.411 + 0.289 \ln(K(\text{m/day}))) \quad (2.1.21)$$

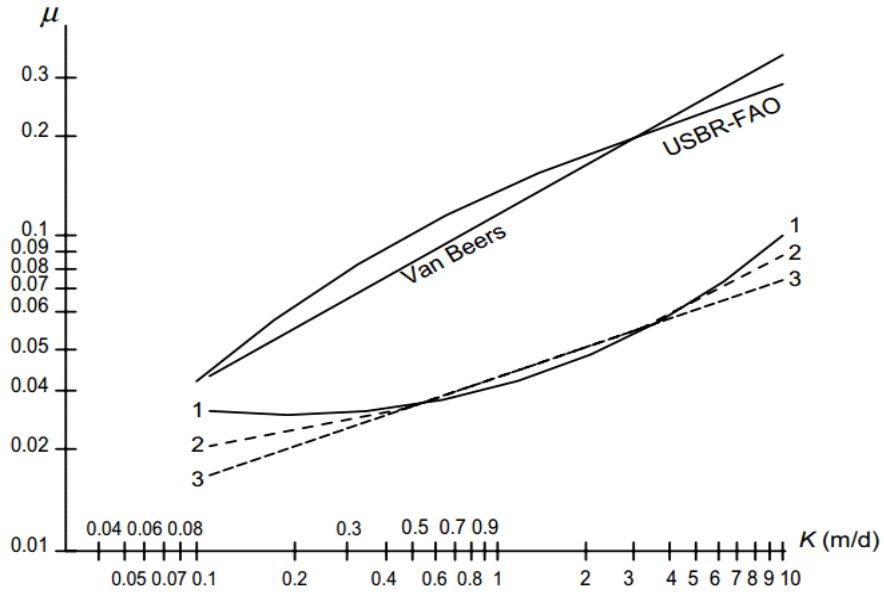


그림 2.1.42 투수계수와 유효간극률의 관계 1. 점토 2. 점토함량<15% 3. 15%<점토함량<30%

다. 암거의 관경 및 기울기

[농업생산기반정비사업계획설계기준(배수편)]에서는 암거의 관경과 기울기에 대하여 다음과 같이 요약하고 있다.

- (1) 흡수관의 관경은 계획배수량이 만류가 되지 않고 충분히 유하 할 수 있는 크기로 한다. 그러나 특별한 경우를 제외하고 최소관경은 50mm(A=19.6cm²)로 하며 경지정리답의 배미구 장변(100m인 경우)에 맞추어 흡수관 길이를 95m, 흡수관경을 50mm로 하면 충분하다.
- (2) 흡수거의 기울기는 평탄지에서 인력매설시는 1/300 ~ 1/600, 기계매설 시는 1/500 ~ 1/1,000로 하면 적당하다. 그런데 침하로 균일한 기울기의 유지가 곤란하므로 가급적 기울기가 급한 쪽이 바람직하다. 관내유속은 최대유속 시에 0.3m/s 이상 ~ 1.0m/s 범위에 있는 것이 바람직하다.

암거의 기울기는 암거 내의 유속 및 유량과 관계되고 결론적으로 관경의 계산에 사용되므로 먼저 결정되어야 할 사항으로 ASAE에서는 다음과 같이 암거의 최소기울기를 제안하고 있다.

표 2.1.17 암거의 최소 기울기(ASAE, 1998a)

| Inside Dia. of Pipe(mm) | Pipes NOT subjected to fine sand or silt | | Pipes subjected to fine sand or silt | |
|-------------------------|--|------------|--------------------------------------|------------|
| | Clay/Concrete | Corrugated | Clay/Concrete | Corrugated |
| 75 | 0.08 | 0.10 | 0.60 | 0.81 |
| 100 | 0.05 | 0.07 | 0.41 | 0.55 |
| 125 | 0.04 | 0.05 | 0.30 | 0.41 |
| 150 | 0.03 | 0.04 | 0.24 | 0.32 |

암거의 기울기가 결정되면 암거 내의 유속(V)은 매닝(Manning)공식으로 산출하고 있는데 이때 동수경사는 흡수거의 설치기울기와 같게 한다.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (2.1.22)$$

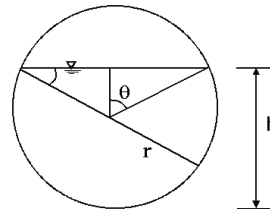
표 2.1.18 흡수거의 조도계수

| 관 의 종 류 | 조도계수 n | 비 고 |
|---------------|--------|------------------------------|
| 흙 관 | 0.013 | + 연결상태가 불량하면 n치 증가 ┌ └ |
| 도 관 | 0.014 | |
| 소 소 토 관 | 0.013 | |
| 경 질 염 화 비 닐 관 | 0.012 | |
| PVC 유 공 주 립 관 | 0.016 | |

(주) : 본 조도계수는 신제품인 경우임.

표 2.1.19 흡수거의 유량, 유속계산표

| h/2r | α | β | 비 고 |
|------|----------|---------|---|
| 0.50 | 0.9895 | 0.62996 | Q = 유량(m ³ /s) r = 관의 반경(m) n = 조도계수 I = 기울기 V = 유속(m/s) |
| 0.55 | 1.15917 | 0.65473 | |
| 0.60 | 1.32962 | 0.67558 | |
| 0.65 | 1.49699 | 0.69251 | |
| 0.70 | 1.65696 | 0.70541 | |
| 0.75 | 1.80486 | 0.71404 | |
| 0.80 | 1.93448 | 0.71799 | |
| 0.85 | 2.03932 | 0.71653 | |
| 0.90 | 2.10929 | 0.70827 | |
| 0.95 | 2.12655 | 0.68980 | |
| 1.00 | 1.97907 | 0.62996 | |



(주) $Q = \frac{1}{n} \times r^{8/3} \times I^{1/2} \times \alpha$

$$V = \frac{1}{n} \times r^{2/3} \times I^{1/2} \times \beta$$

$$\alpha = \frac{(\pi - \theta + \sin\theta \cdot \cos\theta)^{5/3}}{[2(\pi - \theta)]^{2/3}}, \quad \beta = \left[\frac{(\pi - \theta + \sin\theta \cdot \cos\theta)}{2(\pi - \theta)} \right]^{2/3}$$

관경은 관내에서 토사의 침전, 물안금의 부착 등으로 관단면이 축소되는 것을 고려해서 계획유량을 관경의 70% 정도의 수심으로 유지할 수 있도록 결정하는 것이 바람직하다. 관경 50mm 이하의 암거는 특수한 경우를 제외하고 사용하지 않는다.

경사지에서 흡수거의 기울기가 1/100 이상이 되는 경우는 접합부의 연결이 완전한 것을 선택하고, 접합부분은 내구성 재료로 보강한다. 평탄지에서 흡수거가 느린 기울기로 부설될 때는 관의 침하로 통수불량이 되는 것을 피하기 위해 피복재의 두께를 크게 하고 시공관리를 철저히 한다.

암거배수량은 점진적인 토양구조의 발달에 의해서 당초의 계획배수량을 초과하는 일이 있다. 이런 경우는 평탄지에서 집수거 상류부의 배수가 늦어지고 경사지에서는 집수거 하류부분의 배수가 늦어진다. 그러므로 계획배수량에 대해서 평탄지는 집수거의 상류부 여유를 크게 취하고 경사지는 하류부의 여유를 크게 취한다. 암거 계획배수량은 단위계획배수량(10 ~ 30mm/day)과 집수면적을 곱하여 계산된다.

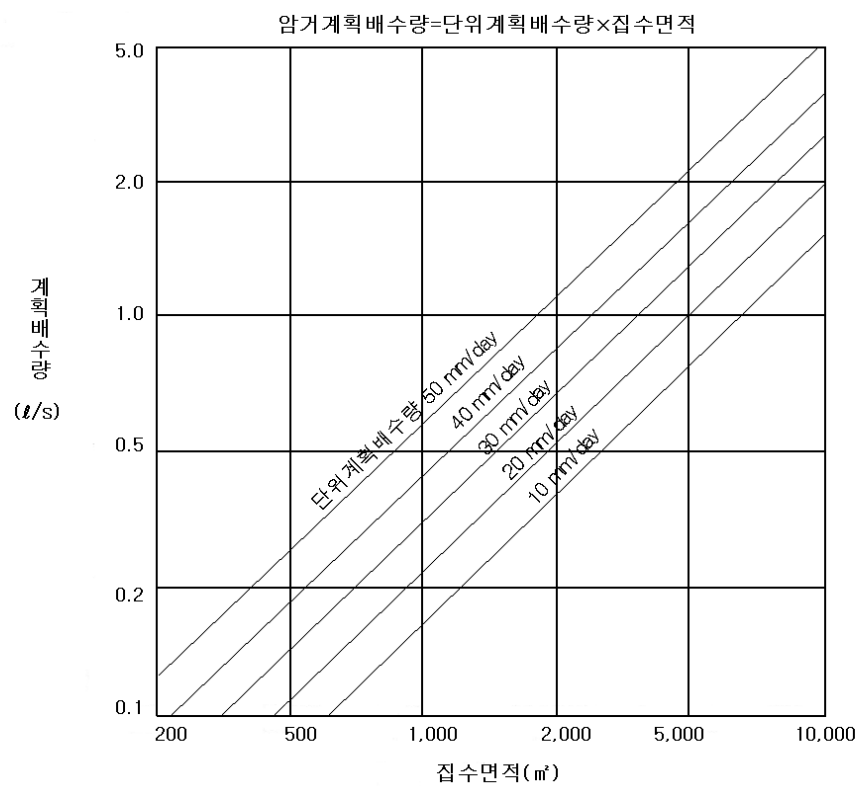


그림 2.1.43 암거배수량

4. 농지범용화 적지분석

4.1 농지범용화 대상지 자료분석

적지분석(suitableland analysis)이란 토지이용계획이나 시설물 계획시 특정용도 또는 시설이 입지하기에 가장 적합한 지역을 분석하는 과정을 말한다. 입지선정의 문제점을 해결하고 합리적이고 타당성 있는 입지선정 과정을 위해 최근에는 지리정보시스템(GIS)이 많이 활용되고 있으며(Ritsema and DeJong, 1999; 국토개발연구원, 1997; 최희운 등; 2004), 특히 도면중첩방법(overlay analysis)이 많이 사용되어 왔다. GIS기법은 지리적 속성을 보다 빠르고 효율적으로 분석함으로써, 다양한 입지 후보지를 찾아낼 수 있는 장점이 있을 뿐 아니라, 계획가나 정책결정자에게 주어진 문제를 해결함에 있어서 단시간 내에 다양한 대안을 작성하여 상호 비교할 수 있게 해주기 때문이다(오규식, 1995). 입지선정에 GIS를 활용하기 위해서는 다양한 공간상의 결정요인들의 합리적·효율적 처리가 전제되어야 하며, 적지선정을 위해 우선적으로 입지 결정인자를 마련하고 그에 적합한 자료를 구축해야 한다. 본 연구에서는 농지범용화 대상지의 입지적 적합성을 고려하기 위해 1:25,000의 중분류 토지피복지도(환경부, 2007)와 정밀도양도(농업과학원, 2007) 자료를 사용하여 공간적 중첩(Overlay) 기법을 통해 지형적 및 자연환경적 요인에 따른 분류도를 작성하여, 전국의 논과 밭(밭, 시설재배지, 과수원, 기타재배지 포함)의 토양배수등급별 면적을 산출하였다.

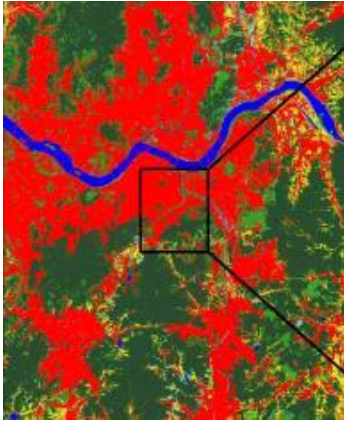


가. 토지피복지도 (환경부)

토지피복지도(Land Cover Map)는 주제도(Thematic Map)의 일종으로, 지구표면 지형지물의 형태를 일정한 과학적 기준에 따라 분류하여 동질의 특성을 지닌 구역을 Color Indexing한 후 지도의 형태로 표현한 공간정보 DB를 말한다. 토지피복분류(Land Cover Classification)는 원격탐사 자료의 가장 대표적이고 전형적인 응용방법의 하나로서, 숲, 초지, 콘크리트 포장과 같은 지표면의 물리적 상황을 분류한 것이다. 이 같은 토지피복지도는 지표면의 현재 상황을 가장 잘 반영하고 있어 현실을 반영한 여러 모델링의 기초 자료로 활용되어 정책수립의 효율성·과학성을 높이는데 많은 기여를 하고 있다.

토지피복지도의 분류체계는 활용 목적에 따라 매우 다양하게 설정할 수 있다. 예를 들면 대기오염 모델링에 있어서는 자연오염원에 의한 배출량 산정을 위하여 지표면의 상태(산림지역, 농업지역, 나지, 시가화건조지역)가 중요한 인자가 된다. 수질오염모델링에서는 여러 가지 계수값이 필요하며 그 중 지표면 유출계수를 산정하기 위해서는 현재의 지표면 형태 즉, 지적공부상의 이용상태가 아닌 자연상태의 지표면이 갖는 물리적 상태가 중요한 인자가 된다. 즉 하천 둔치의 경우 하천제방 경계 안쪽을 확일적으로 하천으로 분류하는 것이 아니라 초지, 나지, 경작지 등 현재의 토지피복 상태를 나타내는 것이 중요하다. 반면에 자연환경부문에서는 생물종의 보전과 서식처 확대를 위한 식생현황, 습지의 형태와 각종 개발과 자연재해로 인한 훼손현황 등을 파악할 수 있는 시가화건조지역, 골프장, 채광지역, 기타 나지 등이 매우 중요한 분류항목이 된다. 토지피복지도 구축사업에서는 기본적으로 지표면의 생태학적 특성을 반영하고 비점오염원 관리, 공간계획 및 각종 모델링의 기초자료로서 환경업무 전반에 활용할 수 있도록 관련 전문가와 유관기관 관계자와의 자문회의를 거쳐 다음 사항을 고려하여 항목에 따라 3단계로 나누고, 지표면의 상태를 7개 항목으로 나누는 대분

류, 22개 항목으로 나누는 중분류, 41항목으로 나누는 세분류로 나누어 구성하였다.

표 2.1.20 해상도별 토지피복지도 비교

| 대분류 토지피복지도 | 중분류 토지피복지도 | 세분류 토지피복지도 |
|--|---|---|
|  |  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ 30M 공간해상도 ▪ 7개 분류항목 ▪ 1:50,000 도곽단위로 구축 ▪ Landsat TM 위성영상 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 5M 공간해상도 ▪ 22개 분류항목 ▪ 1:25,000 도곽단위로 구축 ▪ Landsat TM + IRS 1C 위성영상 ▪ SPOT5, 아리랑 2호 위성영상 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1M 공간해상도 ▪ 41개 분류항목 ▪ 1:5,000 도곽단위로 구축 ▪ 아리랑2호 위성영상 ▪ IKONOS 위성영상, 항공사진 |

대분류 토지피복지도의 경우 1998년 시범사업으로 남한 지역에 대한 대분류 토지피복지도를 238도엽을 구축하여 우리나라의 토지 상황을 한 눈에 볼 수 있도록 하였다. 또한 토지피복지도를 구축하기 위해 필요한 기초 및 참조자료를 설정하였다. 2000년에 정보화근로사업으로 수행된 2차 토지피복지도 구축 사업에서는 남·북한의 30m 공간해상도, Landsat TM이라는 위성영상자료를 이용하여 80년대 말과 90년대 말 두 시기의 1:50,000 축척의 대분류 토지피복지도를 구축하였다. 남한의 경우 대분류 토지피복지도가 1980년대 말과 1990년대 말 작성된 이후 작성되지 않음에 따라 대분류 토지피복지도의 수요에 비해 제공이 충분치 않다. 북한의 경우도 남한과 동일하게 10년 주기의 토지피복지도가 있으나, 이후 추진이 이루어지지 않았다. 이에 따라 통일을 예비한 각종 환경현황분석 및 정책수립을 위해 5년 주기로 재구축을 추진하며, 남·북한의 30m 공간해상도, Landsat 7 위성영상을 이용하여 축척 1:50,000의 대분류 토지피복지도를 구축하였다.

중분류 토지피복지도의 경우, 5m 공간해상도의 IRS-1C 영상(촬영년도 2000년) 및 Landsat TM 영상(촬영년도 1999년)을 사용하여 중분류 토지피복지도 제작을 위한 시범사업을 대분류 항목을 기준으로 각 항목의 분류 특성을 나타내는 서울, 경기 지역 121도엽(1:25,000 축척)을 대상으로 구축하였다. 한강권역, 금강권역 (강원도, 충청남도, 충청북도, 대전광역시 전부, 전라북도, 경상북도 일부) 1:25,000 축척 321도엽에 대하여 IRS-1D 위성영상과 Landsat ETM+ 위성영상을 사용하여 23개 항목에 대한 중분류 토지피복지도를 제작하였다. 특히 3차 사업에서는 비도심지와 도심지역의 사용 영상을 구분하여 도심지역의 경우 건물, 도로 등 도심지의 특성을 반영하여 분류가 이루어 질 수 있도록 IKONOS 영상을 사용하였다. 또한

사업 결과를 바탕으로 분류 체계의 표준화 방안 및 제작지침을 작성하여 과학적인 작업 공정 진행과 정확한 결과를 얻을 수 있도록 하였다. 2003년에는 낙동강 권역(부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 경상북도, 경상남도 전역, 전라북도, 전라남도 일부) 1:25,000 축척 225도엽에 대하여 SPOT5 위성영상을 사용하여 23개 항목에 대한 분류 작업을 수행하였으며, 영산강 및 제주권역의 중분류 토지피복지도 구축사업은 2002년 촬영이 시작된 2.5m 공간해상도를 가지고 있는 SPOT5 영상을 사용하여 영상의 균질성을 확보하였다. 5차 사업에서는 중분류 토지피복지도의 구축이 완료되는 시점이므로 토지피복지도의 다양한 활용방안에 대한 연구도 수행하였다. 2007년도에 SPOT 5 위성영상을 활용하여 전국 단위의 중분류 토지피복지도 1차 갱신을 완료하였으며, 2009년도에는 그 간 외국의 값비싼 영상에 의존하여 왔던 기존의 관행을 깨고 순수 국산 위성인 아리랑 2호 영상과 SPOT 5 영상을 사용하여 서울, 인천, 경기, 대전 및 충청도 일부 지역의 2차 갱신 사업을 하였다.

세분류 토지피복지도는 1:15,000 축척의 항공사진과 IKONOS 영상을 기본 자료로 하여 대분류 분류 항목에 따른 6곳의 사례지역에 대한 48개 항목의 세분류 토지피복지도(시범구축)를 제작하였으며, 필요시 지방자치단체에서 자체적으로 제작할 수 있도록 제작지침을 작성하였다. 2000년에 수행된 세분류 토지피복지도 제작을 위한 시범사업은 우리나라의 토지피복특성을 반영한 6개 지역 (시가화/건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지)에 대하여 48개 분류 항목에 대한 분류 작업을 수행하였다. 2010년에는 북한강·남한강유역(가평군, 남양주시, 양평군, 광주시, 여주군, 이천시) 및 수질오염총량제(하천 유역에서 배출되는 오염물질의 허용 총량을 정한 제도)에 따른 경안천 유역을 대상으로 공간해상도 1m의 아리랑 2호 영상을 사용하여 세분류 토지피복도를 구축하였다.

표 2.1.21 토지피복지도 분류체계 (대분류, 중분류, 세분류)

| 대분류(7항목) | | | 중분류(22항목) | | | 세분류(41항목) | | | | | |
|------------------|-----|--------------|--------------|-----|-----------------|--------------|-----|-----------------|----------|-----|---------------|
| 분류 | 코드 | 색상 | 분류 | 코드 | 색상 | 분류 | 코드 | 색상 | | | |
| 시가화/ 건조 지역 | 100 | [Red] | 주거지역 | 110 | [Light Orange] | 단독주거시설 | 111 | [Light Orange] | | | |
| | | | | | | 공동주거시설 | 112 | [Orange] | | | |
| | | | 공업지역 | 120 | [Brown] | 공업시설 | 121 | [Brown] | | | |
| | | | | | | 상업지역 | 130 | [Pink] | 상업·업무시설 | 131 | [Pink] |
| | | | 혼합지역 | 132 | [Light Brown] | | | | | | |
| | | | 문화체육휴양 지역 | 140 | [Pink] | 문화체육휴양 지역 | 140 | [Pink] | 문화체육휴양시설 | 141 | [Pink] |
| | | | | | | | | | 교통지역 | 150 | [Red] |
| | | | 항만 | 152 | [Dark Red] | | | | | | |
| | | | 철도 | 153 | [Red] | | | | | | |
| | | | 도로 | 154 | [Orange-Red] | | | | | | |
| | | | 기타 교통·통신시설 | 155 | [Dark Red] | | | | | | |
| | | | 공공시설지역 | 160 | [Yellow-Orange] | 환경기초시설 | 161 | [Yellow-Orange] | | | |
| | | | | | | 교육·행정시설 | 162 | [Orange] | | | |
| | | | | | | 기타 공공시설 | 163 | [Brown-Orange] | | | |
| 농업 지역 | 200 | [Yellow] | 논 | 210 | [Light Yellow] | 경지정리가 된 논 | 211 | [Light Yellow] | | | |
| | | | | | | 경지정리가 안 된 논 | 212 | [Light Yellow] | | | |
| | | | 밭 | 220 | [Yellow] | 경지정리가 된 밭 | 221 | [Yellow] | | | |
| | | | | | | 경지정리가 안 된 밭 | 222 | [Yellow] | | | |
| | | | 시설재배지 | 230 | [Light Green] | 시설재배지 | 231 | [Light Green] | | | |
| | | | | | | 과수원 | 240 | [Green] | 과수원 | 241 | [Green] |
| | | | 기타재배지 | 250 | [Brown-Green] | | | | 목장·양식장 | 251 | [Brown-Green] |
| | | | | | | 기타재배지 | 252 | [Brown-Green] | | | |
| 산림 지역 | 300 | [Dark Green] | 활엽수림 | 310 | [Green] | 활엽수림 | 311 | [Green] | | | |
| | | | 침엽수림 | 320 | [Dark Green] | 침엽수림 | 321 | [Dark Green] | | | |
| | | | 혼효림 | 330 | [Dark Green] | 혼효림 | 331 | [Dark Green] | | | |
| 초지 | 400 | [Green] | 자연초지 | 410 | [Light Green] | 자연초지 | 411 | [Light Green] | | | |
| | | | 인공초지 | 420 | [Dark Green] | 골프장 | 421 | [Light Green] | | | |
| | | | | | | 묘지 | 422 | [Green] | | | |
| | | | | | | 기타 초지 | 423 | [Dark Green] | | | |
| 습지 | 500 | [Purple] | 내륙습지 | 510 | [Purple] | 내륙습지 | 511 | [Purple] | | | |
| | | | 연안습지 | 520 | [Purple] | 갯벌 | 521 | [Purple] | | | |
| 염전 | 522 | [Purple] | | | | | | | | | |
| 나지 | 600 | [Cyan] | 자연 나지 | 610 | [Light Blue] | 해변 | 611 | [Light Blue] | | | |
| | | | | | | 강기습 | 612 | [Light Blue] | | | |
| | | | | | | 암벽·바위 | 613 | [Grey-Blue] | | | |
| | | | 기타 나지 | 620 | [Cyan] | 채광지역 | 621 | [Dark Blue] | | | |
| | | | | | | 운동장 | 622 | [Teal] | | | |
| | | | | | | 기타 나지 | 623 | [Cyan] | | | |
| 수역 | 700 | [Blue] | 내륙수 | 710 | [Blue] | 하천 | 711 | [Blue] | | | |
| | | | | | | 호소 | 712 | [Blue] | | | |
| | | | 해양수 | 720 | [Blue] | 해양수 | 721 | [Blue] | | | |

표 2.1.22 분류항목별 분류기준

| 중분류 | 세분류 | 분류기준 | 비고 |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---|-----|
| 주거 지역 (110) | 단독 주거 시설 (111) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 아파트, 연립, 빌라를 제외한 모든 단독주거시설을 포함 ▪ 주거/상업/공업시설이 혼합된 지역은 혼합지역으로 분류 ▪ 생가, 고택(중가, 종택), 별장 등을 포함 ▪ 신당(굿당, 당산, 산신각, 개당 등) 및 고택 내 사당 등을 포함 | 불투수 |
| | 공동 주거 시설 (112) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 아파트, 연립, 빌라를 모두 포함 ▪ 아파트 단지 내의 개개의 건물만 공동주거시설로 분류하고, 그 외의 부분은 각 항목에 맞도록 구분하여 분류 ▪ 단지 내 상가 등 부대 상업시설은 상업·업무시설로 분류 ▪ 관리사무소, 노인정, 경비실은 공동주거시설에 포함 | 불투수 |
| 공업 지역 (120) | 공업 시설 (121) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 농업, 임업, 수산업 등 1차산업에서 얻어진 생산물을 원료로 인간생활에 필요한 여러 생산물을 가공·생산하는 산업시설 및 건물을 포함 ▪ 수로, 관개용수시설, 발전용수, 유류 및 가스 등의 수송을 위한 수송관을 포함 ▪ 주거·상업·공업시설이 혼합된 아파트형 공장의 경우 혼합지역으로 분류 ▪ 공업지역 내의 기숙사는 공동주거시설, 상가는 상업·업무시설로 분류 | 불투수 |
| 상업 지역 (130) | 상업 · 업무 시설 (131) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 상품의 도·소매 등 매매업이 주를 이루는 지역으로 상가 및 시장이 위치한 지역과 사무빌딩 등 업무 시설이 주를 이루는 지역을 포함 ▪ 주거/상업/공업이 혼합된 지역은 혼합지역으로 분류 ▪ 판매 및 영업, 업무, 창고, 숙박시설, 주유소·가스충전소·저유소를 포함 ▪ 단란주점, 유흥주점, 유원시설업의 시설, 무도장, 카지노 영업소 등을 포함 ▪ 단체, 협회, 휴게소, 터미널(버스터미널, 화물터미널 등)을 포함 ▪ 역(역사, 플랫폼), 원형 기관차고, 정비시설, 전차·조차장 및 기타부지를 포함 | 불투수 |
| | 혼합 지역 (132) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 주거/상업·업무/공업 시설이 혼합된 지역 | 불투수 |
| 문화 · 체육 · 휴양 시설 (140) | 문화 · 체육 · 휴양 시설 (141) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 놀이공원, 리조트, 체육공원, 펜션 등의 휴양시설을 포함 ▪ 운동장, 경마장, 경륜장, 자동차 경주장, 경정장 등 경기장 시설을 포함 ▪ 영화, 드라마 등을 찍고 만드는데에 필요한 설비를 갖춘 곳을 포함 ▪ 청소년 수련원, 야영장, 쉼터, 대피소, 휴양림 등을 포함 ▪ 휴양지 내에 위치한 호텔, 모텔 등의 숙박시설을 포함 ▪ 공연시설(공연장, 연극극장, 음악당 포함, 영화상영관 제외), 전시시설(박물관, 미술관, 기념관, 전시관, 화랑 등)을 포함 ▪ 문화회관(문화센터), 낚시터, 승마클럽, 전망대, 케이블카, 영어마을 등을 포함 ▪ 골프연습장(실내, 실외), 골프클럽 내 시설(클럽하우스 등) 포함 ▪ 골프연습장 그물망은 주차장인 경우 도로, 그 외에는 문화체육휴양시설로 분류 ▪ 인공폭포, 분수대 등을 포함 | 불투수 |

| 중분류 | 세분류 | 분류기준 | 비고 |
|-------------------------|--------------------------|---|-----|
| 교통 지역 (150) | 공항 (151) | <ul style="list-style-type: none"> 여객·화물의 항공운송에 필요한 시설로 격납고, 승강장, 관제시설 등 부대시설을 포함 활주로의 경우 도로로 분류하고 활주로 주변의 초지, 나지 등은 최소 분류 기준에 따라 각각의 항목으로 분류 | 불투수 |
| | 항만 (152) | <ul style="list-style-type: none"> 선박의 정박과 물품의 하역 시설 및 부지 화물의 내륙수송을 위한 항구내의 철로와 보관을 위한 창고시설을 포함 방파제 및 방조제를 포함 | 불투수 |
| | 철도 (153) | <ul style="list-style-type: none"> 선로, 고가철로, 지선을 포함 역(역사, 플랫폼), 원형 기관차고, 정비시설, 전차·조차장 및 기타부지는 상업업무시설로 분류 선로 사이의 초지, 나지 등은 최소분류 기준에 따라 각각의 항목으로 분류 | 투수 |
| | 도로 (154) | <ul style="list-style-type: none"> 영상에서 시각적으로 판독이 가능한 불투수성(아스팔트(아스콘), 콘크리트(시멘트), 우레탄) 도로 및 교량을 포함하며, 길이 3m 이하의 도로는 생략이 가능 입체교차로를 포함하며, 입체 교차로 내 초지는 기타초지로 분류 휴게소는 상업·업무지역에 포함 건설 중인 도로가 콘크리트인 경우에는 도로로 분류하고, 나지인 경우 기타 나지로 분류 도로의 분리대 및 주차장의 경우 도로로 포함 | 불투수 |
| | 기타교통 통신시설 (155) | <ul style="list-style-type: none"> 헬기 이·착륙장, 텔레비전 또는 라디오 송·수신시설을 포함 공항, 항만, 철도, 도로항목에 포함되지 않는 교통·통신시설 등을 포함 기타 교통 시설 : 톨게이트(요금징수소) 기타 통신 시설 : 방송국, 송신소, 기지국, 지구국 등 통신 관련 시설로 위성중계기, 송신탑 등의 부대시설을 포함함 | 불투수 |
| 공공시 설 지역 (160) | 환경기 초시설 (161) | <ul style="list-style-type: none"> 환경오염물질 등으로 인한 자연환경 및 생활환경에 대한 위해를 사전에 예방·저감하거나 환경오염물질의 적정처리 또는 폐기물 등의 재활용을 위한 시설·기계·기구 기타 물체 등이 설치된 시설 환경오염방지시설, 마을하수도 및 하수종말처리시설, 폐수종말처리시설, 오수처리시설, 단독정화조, 축산폐수처리시설, 분뇨처리시설, 축산폐수공공처리시설, 재활용시설, 폐기물처리시설, 취수시설 및 정수시설, 펌프장, 가압장, 폐차장, 저류시설 등을 포함 | 불투수 |
| | 교육· 행정시 설 (162) | <ul style="list-style-type: none"> 유치원, 초·중·고·대학교 등 모든 교육시설 특수학교, 고등기술학교, 공민학교, 각종학교(중·고·대학 수준) 등 교육부 인가 학교 포함 행정업무를 담당하는 정부청사, 시·도청, 시·군·구청, 읍·면·동사무소 학교 내 기숙사(공동주거지역), 운동장(문화체육휴양시설) 을 제외한 나머지 시설물은 교육·행정시설로 분류 | 불투수 |
| | 기타 공공시 설 (163) | <ul style="list-style-type: none"> 환경기초시설, 교육·행정시설에 포함되지 않은 공공시설지역 모든 댐, 발전시설(발전소, 정류소, 변전소, 수문, 급전소, 송전탑, 태양열집열관 등)과 부대시설을 포함 길이 50m 이상의 불투수포장재로 되어 있는 제방(콘크리트, 도색 등)을 포함 | 불투수 |

| 중분류 | 세분류 | 분류기준 | 비고 |
|--------------------|--------------------------------|--|----------------|
| | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 제방이 나지, 초지 등으로 되어 있는 경우 각각 분류항목에 따라 분류 ▪ 교도소, 수용소등의 교정시설과 군사시설을 포함 ▪ 종교시설(절, 교회 등) 또는 사적지이면서, 영상으로 판독이 가능한 경우 ▪ 문화유적(고궁, 궁, 서당, 사당, 제단, 제실, 석탑 등) 을 포함 ▪ 농민상담소, 농업인건강관리실, 농업인건강안전정보센터를 포함 ▪ 연수원, 교육원, 연구소, 인재개발원, 배양실, 강우관측소 등을 포함 ▪ 폴리텍대학, 직업훈련기관(직업전문학교) 등 고용노동부 산하·지정 기관 포함 | |
| 논 (210) | 경지 정리가 된 논 (211) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 물을 이용하여 벼를 재배하는 경지정리가 된 토지로 미나리와 같이 물속에서 자라는 토지를 포함 ▪ 현재 논농사는 짓고 있지 않으나 경지정리 중인 논을 포함 ▪ 논로는 최소분류기준에 따라 폭 3m이상을 분류하고 불투수성인 경우 도로, 투수성인 경우 기타나지로 분류 ▪ 폭 3m 이상의 구거는 구조물화 된 경우 기타공공시설(163)로 분류하고 비고란에 “구거“로 입력, 구조물화 되지 않은 경우, 내륙습지(511)로 분류하고 비고란에 “구거“로 입력 | 투수 |
| | 경지 정리가 안 된 논 (212) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 물을 이용하여 벼를 재배하는 경지정리가 안 된 토지를 포함 ▪ 산간지방에 위치하여 과거 수년간 농사를 짓지 않아 지목 상 농경지(농어촌정비법 제2조 제9호의 규정에 의한 한계농지 등)나 황폐화된 곳은 피복 특성에 따라 자연초지 및 기타 나지로 분류 | 투수 |
| 밭 (220) | 경지 정리가 된 밭 (221) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 물을 대지 않고 벼 이외의 작물을 재배하는 경지정리가 된 토지로 보통작물인 무, 배추, 시금치 등의 채소와 특수작물을 재배하는 지역을 포함 ▪ 논로는 최소분류기준에 따라 폭 3m이상을 분류하고 불투수성인 경우 도로, 투수성인 경우 기타나지로 분류 | 투수 |
| | 경지 정리가 안 된 밭 (222) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 물을 대지 않고 벼 이외의 작물을 재배하는 경지정리가 안 된 토지를 포함 ▪ 논로는 최소분류기준에 따라 폭 3m이상을 분류하고 불투수성인 경우 도로, 투수성인 경우 기타나지로 분류 | 투수 |
| 시설 재배지 (230) | 시설 재배지 (231) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 비닐 또는 유리, 철제 등 시설로 된 재배지 ▪ 시설 내 버섯재배지, 육묘공장(모판재배지) 등을 포함 ▪ 뼈대만 설치된 하우스의 경우 밭으로 분류 | 불투수 + 투수 |
| 과수원 (240) | 과수원 (241) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 사과, 배, 감, 복숭아, 포도, 감귤 등의 과수를 재배하는 토지 | 투수 |
| 기타 재배지 (250) | 목장· 양식장 (251) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 축산과 낙농을 위해 사용하는 시설로 목장·농장·농원·방목장을 모두 포함 ▪ 생산을 위한 시설물 (부화장, 양계장, 양봉장, 곤충재배, 견사, 양식장 등) 및 부대시설 을 포함 ▪ 방목장에 초지가 있는 곳으로 그 면적이 10m x 10m 이상인 곳은 기타초지로 분류 | 불투수 |
| | 기타 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 정원수 및 가로수 등의 시설 식재를 위한 토지로 | 투수 |

| 중분류 | 세분류 | 분류기준 | | 비고 |
|-------------------|-------------------|---|---|----|
| | 재배지 (252) | 원예·조경재배지·묘포원을 포함 | | |
| 활엽 수림 (310) | 활엽 수림 (311) | <ul style="list-style-type: none"> 활엽수림이 전체 임분 면적의 75% 이상을 차지하는 산림 | <ul style="list-style-type: none"> 공통1 : 산림 내 초지(묘지 포함), 나지, 암벽 등 각 분류항목은 최소분류 기준 50m x 50m에 따라 분류 | 투수 |
| 침엽 수림 (320) | 침엽 수림 (321) | <ul style="list-style-type: none"> 침엽수림이 전체 임분 면적의 75% 이상을 차지하는 산림 | <ul style="list-style-type: none"> 공통2 : 별채지는 별채(간별)후 조림이 되어 10%미만의 임목이 있는 경우 자연초지, 10% 이상의 임목이 있는 경우에는 침·활·혼효림, 개간되어 임목이 없는 경우에는 기타나지(623)로 분류 공통3 : 임도의 경우 최소분류기준에 따라 폭 3m 이상을 분류하고 불투수성인 경우 도로, 투수성인 경우 기타나지로 분류 비고 : 산림지역의 침·활·혼 구분은 중앙부처에서 제작·배포중인 산림주제도를 준용함 | 투수 |
| 혼효림 (330) | 혼효림 (331) | <ul style="list-style-type: none"> 활엽수 임분과 침엽수 임분이 혼재되어 있으며, 전체 면적 중에 활엽수 임분 75%이하, 침엽수 임분이 75%이하인 산림 | | 투수 |
| 자연 초지 (410) | 자연 초지 (411) | <ul style="list-style-type: none"> 자연적으로 발생한 초지(산 정상, 능선부의 억새 밭, 하천 및 산림에 접한 주연부 초지 등)지역을 모두 포함 전체 초지면적 중 10% 미만의 임목이 있는 경우 자연초지로 분류 하천 주변의 자연초지는 제방이 있을 경우 내부는 내륙습지, 외부는 자연초지로 분류 | | 투수 |
| 인공 초지 (420) | 골프장 (421) | <ul style="list-style-type: none"> 골프장 코스 내의 인공적으로 조성한 초지 골프장 내 시설(클럽하우스 등)은 문화·체육·휴양시설로, 병컸는 기타나지로 분류 골프장 내의 초지, 호소, 도로, 하천 등은 각 분류항목별로 분류 | | 투수 |
| | 묘지 (422) | <ul style="list-style-type: none"> 묘지 내의 인공적으로 조성한 초지를 모두 포함 묘지관리시설, 화장장의 경우 기타 공공시설지역으로 분류 | | 투수 |
| | 기타초 지 (423) | <ul style="list-style-type: none"> 사료작물재배지, 인터체인지 안쪽, 도로의 절토부분 및 공사지역의 사면이 경사 거리 50m 이상이며, 초지로 조성하여 안정된 경우 등을 포함 농장·농원·목장·방목장의 시설지 이외의 초지 및 가로수를 포함 도로 및 아파트 주변의 완충 녹지※(또는 경관녹지)로 조성된 초지를 포함 초지로 조성된 스키장 슬로프를 포함 | | 투수 |
| 내륙 습지 (510) | 내륙 습지 (511) | <ul style="list-style-type: none"> 비산림지역으로 항상 습해 있고 우기에는 물이 고이는 지역 육지 또는 섬안에 있는 호(湖) 또는 소(沼)와 하구(河口) 등의 지역(습지보전법 제 2조 참조) 제방내부의 식생이 있는 지역 제방내부의 물이 있는 지역은 하천, 초분류가 있는 지역은 내륙습지, 땅이 드러난 지역은 강기습으로 분류 제방외부의 초분류가 있는 지역 중 자연적으로 발생한 것은 자연초지, 인공적으로 조성한 것은 기타초지로 분류 산간지역에 분포하는 산지습지 구조물화 되지 않은 폭 3m 이상의 구거 | | 투수 |

| 중분류 | 세분류 | 분류기준 | 비고 |
|-------------------|-------------------|---|----|
| 연안 습지 (520) | 갯벌 (521) | <ul style="list-style-type: none"> 만조 시에 수위선과 지면이 접하는 경계선으로부터 간조 시에 수위선과 지면이 접하는 경계선까지의 지역 | 투수 |
| | 염전 (522) | <ul style="list-style-type: none"> 소금을 만들기 위해 바닷물을 끌어 들여 논처럼 만든 지역 염전 내의 부대시설은 상업·업무지역으로 분류 | 투수 |
| 자연 나지 (610) | 해변 (611) | <ul style="list-style-type: none"> 만조 시 해안의 수애선에서 갯벌 및 해안 백사장의 육지쪽 경계까지 포함 | 투수 |
| | 강기슭 (612) | <ul style="list-style-type: none"> 유수가 흐르는 곳 외에 강의 제방 안쪽으로 모래나 자갈이 노출된 토지 | 투수 |
| | 암벽 바위 (613) | <ul style="list-style-type: none"> 암석이 노출된 암벽과 바위를 모두 포함 | 투수 |
| 인공 나지 (620) | 채광 지역 (621) | <ul style="list-style-type: none"> 광산, 채석장, 기타 광물질 채취장의 인공적으로 조성된 나지를 포함 채광지역 내 부대시설(물 저장소 등)은 공업지역으로 분류 | 투수 |
| | 운동장 (622) | <ul style="list-style-type: none"> 체육을 하기 위해 만들어진 큰 마당으로 나지로 된 모든 운동장을 포함 운동장이 초지인 경우 기타초지, 인공잔디, 우레탄으로 된 경우 문화체육휴양시설로 분류 | 투수 |
| | 기타 나지 (623) | <ul style="list-style-type: none"> 인공적으로 조성된 나지로, 채광지역 및 운동장을 제외한 지역 토사로 된 질성토면의 경우 기타나지 항목으로 분류 공사로 인한 나지를 포함 별채 등으로 인한 산림 내 나지를 포함 비포장도로 포함 | 투수 |
| 내륙수 (710) | 하천 (711) | <ul style="list-style-type: none"> 하천 제방 내의 물이 흐르는 곳 영상자료의 촬영시점을 기준으로 물이 흐르는 지역을 분류 하천과 호소의 경계는 시설물을 기준으로 하며, 시설물이 없을 경우 수치지형도의 호수/저수지 레이어를 활용 | 투수 |
| | 호소 (712) | <ul style="list-style-type: none"> 자연호수와 인공적으로 설치한 저수지 등을 말하며 물이 있는 수면 영상자료의 촬영시점을 기준으로 물이 있는 지역을 분류 하천과 호소의 경계는 시설물을 기준으로 하며, 시설물이 없을 경우 수치지형도의 호수/저수지 레이어를 활용 만수위 구역 안의 물과 토지 댐·보 또는 제방 등을 쌓아 하천 또는 계곡에 흐르는 물을 가두어 놓은 곳, 하천에 흐르는 물이 자연적으로 가두어진 곳, 화산활동 등으로 인하여 함몰된 지역에 물이 가두어진 곳을 모두 포함(수질및수생태보전에 관한법률 제2조의 정의 참조) | 투수 |
| 해양수 (720) | 해양수 (721) | <ul style="list-style-type: none"> 해안선으로 구획되는 바다의 부분으로, 영상자료의 촬영시점을 기준으로 물이 있는 지역을 포함 내륙수와 해양수의 경계는 폭 1해리(1,850m)미만의 하천 후미를 가로 지르는 일직선에서 해양쪽을 의미 하구둑이나 방조제가 있는 경우 그 시설을 경계로 함 | 투수 |

나. 정밀토양도 (농업과학원)

토양조사는 조사목적, 기본도 축척, 조사 정밀도에 따라서 개략토양조사, 정밀토양조사 및 세부정밀토양조사 등으로 구분하여 실시함에 따라 토양도도 개략토양도, 정밀토양도, 세부정밀토양도로 구분된다. 개략토양조사는 비교적 넓은 지역, 즉 도 이상의 지역에서 실시하며 토양의 분류 단위는 고차분류 단위인 토양군 또는 대토양군을 사용하고 조사에 사용되는 기본도의 축척은 1:25,000 이상의 소축척이다. 우리나라의 개략토양조사는 1965년부터 1967년까지 3개년에 걸쳐 실시하였으며 조사에 사용된 기본도의 축척은 1:40,000이었고 발간된 토양도의 축척은 1:50,000이다. 개략토양도에 표시된 최소 작도단위면적은 6.25ha이며 결과 활용은 주로 국토종합개발계획 등 정책적인 면에 많이 활용되고 있다. 국제연합특별기금 지원하에 실시된 정밀토양조사는 1964년 11월에 시작되었으나 이때는 사업의 준비기간이었고 1965년 초에 조사요원을 모집하여 기술훈련을 실시하고 농업개발이 유망한 지역을 우선 선정하여 정밀토양조사를 착수하였다. 정밀토양조사의 사업구분별, 연도별 실적은 표 4와 같다. UN사업과 정부단독사업에서는 시군 단위 내의 전 지역을 실시하였으며 조기완료 5개년 사업은 농경지 및 야산개발 가능지를 주로 실시하였고, 1980년 이후에는 미조사 지역인 산악지 및 신간척지에 대하여 실시하여 총 9,586,407ha가 조사되었으며 이 면적은 전국토의 96.6%에 해당되고 미조사 지역으로 남아있는 곳은 휴전선 부근과 신간척지 등 일부이다.

표 2.1.23 토양조사 구분

| 구분 | 개략토양조사 | 정밀토양조사 | 세부정밀토양조사 |
|----------------|-------------------------|----------------------------------|--|
| 기본도의 축척 | 1:40,000 | 1:10,000-18,750 | 1:1,200-5000 |
| 토양도의 축척 | 1:50,000 | 1:25,000 | 5,000 |
| 토양도상의 최소 작도면적 | 6.25ha | 1.56ha | 10a |
| 조사의 정밀도 및 토양구분 | 항공사진 위주 해석 | 현지답사 위주 | 필지별 조사 |
| | 고차분류 단위인 대토양군 및 토양군 | 저차분류 단위인 토양통과 작도 단위 (토양통, 구 및 상) | 저차분류 단위인 토양통과 작도 단위 (토양통, 토양구, 토양상 및 현토지 이용) |
| 조사지점간 거리 | 500 ~ 1,000m | 100m 이내 | 50m |
| 결과내용 | 전국적인 토양생성 및 대토양군별 분포 파악 | 군 및 면 단위 영농지도 계획 | 농가별 세부영농계획 |
| | 중앙 및 도 단위 종합개발 계획 | 지역별 개발계획 | 필지별 토양관리 처방 자료 |
| | 농업개발 가능지 분포 파악 | 지대별 주산단지 조성 | 토양특성별 작물 선택 |
| | | 지역별 비료 사용 개선 | 전, 과수 등 적지 파악 |
| | 토양보전 등 기초자료 | 객토, 심경 및 배수 대상지 선정 | |

토양조사의 궁극적인 목적은 합리적인 토지이용에 따른 생산성 향상에 있기 때문에 토양

도의 사용자들을 위해 토양도에 표시된 많은 정보를 알기 쉽게 풀이하여 토양특성에 알맞은 토지이용과 토양관리로 수량을 높일 수 있는 방법을 제시하는 것이 토양해설의 목적이다. 토지이용의 결정은 토양의 물리적 및 화학적 특성뿐만 아니라 토지 소유자의 기술, 자본, 그리고 사회환경 여건에 크게 좌우되나 일차적인 조건은 토양특성에 있으며 동일조건이라도 관리방법에 따라서 생산성이 크게 달라지므로 적절한 관리방법의 제시는 매우 중요한 일이다. 토지이용 추천은 토양조건, 기후 및 사회환경 요인 등에 의하여 결정되어야 하나 여기에서는 토양조건만을 고려하여 농경지로 이용할 때 야기되는 저해 정도에 따라 토지이용 추천을 구분하였으며, 지목별 토지이용 추천기준은 다음과 같다

표 2.1.24 지목별 토지이용 추천기준

| 목 | 논 | 밭 |
|----------|--|--|
| 지형 | 평탄, 대지, 곡간지의 경사 15% 미만. | 평탄, 산록, 저구릉, 곡간 및 선상지의 경사 15% 미만. |
| 토양배수 | 약간불량 내지 매우불량. 단 배수가 약간 양호한 식질토양, 식양질 토양포함. | 양호, 약간양호, 매우양호. |
| 토성 | 식질, 식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질. 단 배수가 약간 양호한 사질토양 포함. | 식양질, 사양질, 미사사양질, 미사식양질. 단 배수가 양호 내지 약간 양호한 식질 또는 매우 양호한 사질토양 포함. |
| 유효토심 | 50cm 이상. 단 배수가 약간 양호한 토양은 유효토심 20cm 이상 포함. | 암반 혹은 견고한 반층이 있을 경우 50cm 이상. 단 석력 또는 모래층이 있을 경우 25cm 이상. |
| 표토의 석력함량 | 표토 또는 토양단면 내에 석력이 없음. 단 배수가 약간 불량한 경우는 석력이 있는 것도 있음. | 표토 또는 토양단면 내에 석력이 없거나 혹은 많음. |
| 침식상태 | 심한 침식을 받은 경우는 제외. | 토양침식은 없거나 혹은 있음. 단 심한 침식을 받은 경우는 제외. |
| 기타 | 표토에 돌, 둥근 바위 또는 바위가 노출된 토양은 배수, 토성 조건에 관계없이 제외. | 표토에 돌 또는 바위가 노출된 토양 제외. |

지목별 적성등급 구분은 토양특성에 따라 토지의 잠재 생산력과 생산 저해의 정도를 표시한 것이다. 지목 또는 작목의 최종 결정은 토지 소유자에게 있으므로 동일 종류의 토양이라도 소유자에 따라 논, 밭 또는 초지로 이용할 수 있으며 때에 따라서는 지목 또는 작목을 변경할 필요도 있다.

지목별 적성등급은 토양조사 결과 밝혀진 각 토양의 고유성질, 지형적 특성 및 토지이용을 제한하는 환경인자 등을 기반으로 한 토양을 해설적으로 구분한 것이다. 토양조사 및 분류는 여러 가지 토지이용에 대한 적응성과 제한성에 따라 토양을 구분하며 야외조사 및 토양분석 후 설정되는 토양도상의 작도단위는 토지이용, 작물생육 및 토양관리 등과 밀접한 관계를 가지고 있다. 토양조사는 모재, 지형, 토색, 토성, 토양구조, 점토광물의 종류, 투수성, 유효토심 등에 대해 규명하고 규명된 각 특성은 토양의 이용과 특성을 규정하는데 관여하는 바, 토색은 토양유기물의 함량과 용탈, 수화작용의 정도를 말해주며, 토성과 토양구조는 근권의 수분과 공기의 균형 및 물의 이동에 영향을 미치며 점토광물의 종류는 치환능력

과 식물영양의 공급력을 암시한다. 한편 심토의 반층 및 점토층의 존재는 투수성을 매우 느리게 하며, 이는 배수 불량으로 뿌리의 신장을 저해하는 원인이 되고 있다. 이와 같은 토양 특성 외에 경사, 침식정도도 작물생육과 생산성을 저해한다. 경사도와 경사면의 길이는 유거와 수분 흡착력에 관여하며 토양침식의 정도는 생산력을 감소시키고 토양보전의 필요성과 방법을 제시한다. 토양을 이용하는데 있어서 부적합한 조건은 토지이용을 제한하며 관리상의 세심한 주의를 요하게 한다. 작물의 생산성은 토양특성과 환경요인에 지배되어 고위생산성인 것과 저위생산성인 토양으로 구분된다. 일반적으로 토양에 동일한 재배 방법으로 작물을 재배하였을 때 환경 및 토양조건이 양호한 토양은 수량이 높은 반면에 불량한 토양은 수량이 낮다. 같은 이유로 환경 및 토양조건을 고려하여 세계 각국에서는 토양의 적성등급 구분기준을 설정하여 토양자체의 등급을 나누고 있다. 미농무성 토양보전국에서는 지목별로 토지이용을 구분하지 않고 I-VIII급지로 구분하며 I-IV급지는 작물재배가 가능하고 V-VIII급지는 농업적 이용가치가 없고 다만 목초지, 임야지, 휴양지, 오락지 등으로 활용이 가능하다는 것을 암시하고 있다.

한편, 우리나라의 국립농업과학원에서는 토지의 적성등급 구분을 토양조건의 적응성, 생산력의 우열, 관리의 난이 등에 따라 각 지목별로 1급지에서 5급지까지로 분류하였으며, 1급지에서 4급지까지는 해당 지목에 대하여 이용이 가능하고 5급지는 해당 지목으로 이용이 부적당한 토양이다. 토지의 생산력은 1급지가 가장 높고 4급지로 갈수록 수량이 떨어지는 것이 일반적인 경향이다. 그러나 급지의 차이와 실제 생산량과는 반드시 비례하지는 않는다. 어느 경우에는 1급지 토양의 수량이 2급지 토양 수량보다 높지 않은 경우도 있다. 다만 1급지 토양이 2급지 토양보다 목표수량을 올리기 위하여 토양을 관리하는데 있어 경제적으로 유리하다는 것을 의미한다. 1급지를 제외한 2, 3, 4급지는 토지이용 및 관리에 있어 문제가 되는 저해요인을 토양이 가지고 있으므로 토양관리상 유의해야 할 사항을 암시하기 위하여 저해인자를 붙여 표기한다. 어떤 토양은 토양자체가 지니고 있는 저해요인이 둘 이상 있을 수 있으나, 그중 작물생육에 더 심한 해를 주는 요인 하나만을 병기하여 사용하고 있다. 우리나라의 육지부 토양과 제주도 토양의 특성은 많은 차이가 있으므로 토지이용 적성등급 분류기준에 있어서는 다음과 같이 구분하여 사용하고 있다. 추자군도를 제외한 제주도와 일부 울릉도 토양은 육지부 토양(비화산회토)과 달리 주로 화산회토로 되어 있으며, 토양의 물리 및 화학적 특성에 차이가 있으므로 별도로 지목별 토지이용 적성등급 기준을 설정하여 다음과 같이 구분하여 사용한다. 토양특성에 따라 지목별로 토지이용 적성등급 구분기준을 설정하여 사용하며 지목별로 1급지를 제외한 2, 3, 4급지에 대하여 작물 생육에 저해요인이 되는 인자를 각 급지에 병기하여 사용함으로써 쉽게 저해요인이 무엇인지를 알게 하고, 저해요인에는 다음과 같은 것이 있다.

경사 : 토양침식을 받거나 받을 우려가 있는 토양

저습 : 지하수위가 높거나 용출지로서 습해가 우려되는 토양

사질 : 점토함량이 적어서 수분 및 양분의 보존 능력이 적으며 한발이 우려되는 토양

석력 : 석력을 많이 함유하거나 암반 등으로 인하여 뿌리의 발육과 경종관리에 제한을 주는 토양

염해 : 전기전도도에 의한 염농도가 4ds/m 이상으로 염해가 우려되는 토양

특이산성 : 유산염 집적층이 100cm 이내에 있어 매우 강한 산성 또는 강한 산성을 띄우는

토양

미숙 : 토양생성작용에 의한 토층의 숙화가 되지 않은 토양

중점 : 점토함량의 과다 및 점토집적층 또는 불투수층의 형성으로 뿌리 발육에 저해되며
통기 및 통수가 불량한 토양

경반 : 심토에 딱딱한 경반층이 있어 뿌리 발육이 어려운 토양

암반 : 암반이 50cm 이내에 존재하여 유효토심이 얇은 토양

침식 : 매우 심한 침식을 받는 토양으로 산지 사방이 필요한 토양

화산회 : 인산 흡수계수가 높아 자연 비옥도가 낮은 토양

분석 : 분석(자갈)이 표토 및 심토에 많이 산재하여 작물의 재배 관리에 제한을 주는 토양

표 2.1.25 논토양의 적성등급 기준

| 구분 | 1급지 | 2급지 | 3급지 | 4급지 |
|----------------------------|---|---|--|---|
| 1.정의 | | | | |
| | 논으로 생산력이 높음. 수도 재배의 집약적 경영이 용이하며, 토양을 관리하는데 제한을 받지 않음. | 논으로 생산력이 보통임. 수도 재배의 집약적 경영이 가능 하나 토양을 관리하는데 다소의 제한을 받음. | 논으로 생산력이 낮음. 수도 재배에 심한 제한을 받고 있어 특수관리 및 재배 기술을 필요로 함. | 논으로 생산력이 매우 낮음. 수도 재배에 매우 심한 제한을 받고 있어 경제적 이용이 어려울 경우가 있음. |
| 2.토양조건 (비화산회 토양) | | | | |
| 토양배수 | 약간불량, 약간양호 (단, 지표에서 25cm 이상이 회색화된것에 한함) | 약간양호, 약간불량, 불량, 매우불량 | 양호, 약간양호, 약간불량, 불량, 매우불량 | 양호, 약간양호, 약간불량, 불량, 매우불량 |
| 토성 | 식질, 식양질, 미사식양질 | 식질, 식양질, 미사식양질 | 질, 식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질 | 식질, 식양질, 미사사양질, 사양질(단, 배수 양호 및 매우 양호한 사질 제외) |
| 유효토심cm -암석층, 경반층 Bx층 | >100 | 100 ~ 50 | 50 ~ 20 | 50 ~ 20 |
| 석력층, 모래층 | >100 | 100 ~ 50 | 50 ~ 20 | 50 ~ 20 20 ~ 10 |
| 표토의 석력 함량 | 없음 | 없음 | 없음 | 없음 |
| 염농도 (dS/m at 25℃) | <4 | 4 ~ 8 | 8 ~ 16 | 16< |
| 유산철의 집적층(cm) | >100 | 100 ~ 50 | 50 ~ 20 | 50 ~ 20 |
| 침식정도 | 없음 ~ 약간 있음 | 없음 ~ 약간 있음 | 있음 | 있음 |
| 경사(%) | <2 | 2 ~ 7 | 7 ~ 15 | 15 ~ 30 |
| 3.토양조건 (화산회토양) | | | | |

| | | | | |
|----------------------------|---|-------------------------|---------------------------------|---|
| 토양배수 | 약간불량, 약간양호 (단, 지표에서 25cm 이상이 회색화 된것에 한함) | 약간양호, 약간불량, 불량, 매우불량 | 양호, 약간양호, 약간불량, 불량, 매우불량 | 양호, 약간양호, 약간불량, 불량, 매우불량 |
| 토성 | 식질, 식양질, 미사식양질 | 식질, 식양질, 미사식양질 | 질, 식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질 | 식질, 식양질, 미사사양질, 사질(단, 배수 양호 및 매우 양호한 사질 제외) |
| 유효토심cm -암석층, 경반층 Bx층 | >100 | 100 ~ 50 | 50 ~ 20 | 50 ~ 20 |
| 석력층, 모래층 | >100 | 100 ~ 50 | 50 ~ 20 | 50 ~ 20 20 ~ 10 |
| 표토의 석력 함량 | 없음 | 없음 | 없음 | 없음 |
| 염농도 (dS/m at 25℃) | <4 | 4 ~ 8 | 8 ~ 16 | 16< |
| 유산철의 집적층(cm) | >100 | 100 ~ 50 | 50 ~ 20 | 50 ~ 20 |
| 침식정도 | 없음 ~ 약간 있음 | 없음 ~ 약간 있음 | 있음 | 있음 |
| 경사(%) | <2 | 2 ~ 7 | 7 ~ 15 | 15 ~ 30 |

표 2.1.26 밭토양의 적성등급 기준

| 구분 | 1급지 | 2급지 | 3급지 | 4급지 |
|------------------|-------------------------------------|--|--|---|
| 1.정의 | | | | |
| | 밭으로 생산력이 높음 전작물 재배의 집약적 경영 | 밭으로 생산력이 보통임 전작물 재배의 집약적 경영 가능하나 토양관리 및 작물을 선택에 다소의 제한을 받음 | 논으로 생산력이 낮음. 전작물 재배에 심한 제한을 받고 있어 특수 관리 및 재배 기술을 필요로 함. | 밭으로 생산력이 매우 낮음. 전작물 재배에 매우 심한 제한을 받아 경제적 이용이 어려울 경우가 있음. |
| 2.토양조건 (비화산회 토양) | | | | |
| 토양배수 | 양호, 약간양호 | 양호, 약간양호, 약간불량 | 매우양호, 양호, 약간양호, 약간불량 | 매우양호, 양호, 약간양호, 약간불량, 불량 |
| 토성 | 식양질, 미사식양질 사양질, 미사사양질 | 식질, 식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질 | 식질, 식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질, 사질(단, 배수가 매우 양호한 사질은 제외) | 식질, 식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질, 사질(단, 배수가 약간 불량, 불량은 제외) |
| 유효토심cm | >100 | 100 ~ 50 | 50 ~ 20 | 50 ~ 20 |

| | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------------|-----------|-------------------------------|
| -암석층, 경반층 Bx층 | | | | |
| 석력층, 모래층 | >50 | 50 ~ 25 | 25 ~ 10 | 25 ~ 10 |
| 표토의 석력 함량 | 없음 ~ 약간 있음. | 있음 | 있음 | 있음 |
| 표층의 암석 노출(돌, 둥근 바위, 바위) | 없음 | 없음 | 돌이 있음 | 바위가 있음 |
| 침식정도 | 없음 ~ 약간 있음 | 있음 | 있음 | 심함 |
| 경사(%) | <2 | 2 ~7 | 7 ~ 15 | 15 ~ 30 |
| 3.토양조건 (화산회토양) | | | | |
| 토양배수 | 양호 | 양호, 약간양호 | 양호, 약간양호 | 매우양호, 양호, 약간불량 |
| 토성 | 미사식양질, 사양질 | 식질, 미사식양질, 사양질 | 식질, 미사식양질 | 식질, 미사식양질, 식양질, 사양질, 사질 |
| 유효토심(cm) | >100 | >100 | 100 ~ 50 | 50 ~ 20 |
| 분석(噴石) 함량 | 없음 ~ 약간 있음 | 있음 | 있음 | 많음 |
| 표층의 암석 노출 | 없음 | 없음 | 있음 | 있음 |
| 경사(%) | <7 | <15 | <30 | <30 |
| 인산흡수계수 (P2O5mg/100g) | <1,000 | 1,000 ~ 2,000 | >2,000 | >2,000 |

농경지 토양의 유형별 구분은 토양특성이 약간 다르나 토양환경과 토양관리에 유사성이 있어 동일한 토양관리를 하여도 작물생육에 크게 영향을 미치지 않는 토양을 묶어서 동일한 유형으로 한다. 우리나라 농경지 토양의 종류는 논토양이 152개 토양통 그리고 밭토양이 135개 토양통으로 밝혀졌다. 이와 같이 많은 토양에 대하여 토양관리의 유사성을 고려하여 논, 밭토양을 각각 6개의 토양유형으로 구분하였으며 유형별 구분 기준은 다음과 같다.

표 2.1.27 논토양의 유형별 분류기준

| 유형 | 보통답 | 사질답 | 습답 | 미숙답 | 염해답 | 특이산성답 |
|-----------------|---|-------------------------|---|--|--------------------------|-------------------------|
| 1.토지생산력 | | | | | | |
| | 높음 | 낮음 | 낮음 | 보통 | 매우낮음 | 매우낮음 |
| 2.지형 | | | | | | |
| | 평탄 및 곡간지 | 평탄 및 곡간지 | 평탄저지 및 곡간저지 | 곡간 및 홍적대지 | 하해혼성 평탄저지 | 하해혼성 평탄지 |
| 3.토양조건 | | | | | | |
| 토양배수 | 약간불량, 약간양호(단, 표토 50cm 이상 회색화토양 에 한함) | 약간양호, 약간불량 | 불량(단, 작토 20-50cm하부 에 암회색이 나타나는 토양에 한함) | 약간양호(단, 표토 50cm 이상에 회색화된 역질토 포함) | 불량 | 불량, 약간 불량 |
| 토성 | 식질, 식양질, 미사식양질 | 사양질, 사질, 미사사양질 | 토성에 관계 없음 | 식질, 식양질 | 식질을 제외한 토성 | 미사식양질, 미사사양질 |
| 토색 | 회색, 회갈색 | 회색, 회갈색 | 암회색, 청회색 | 회갈색, 황갈색 | 회색, 청회색 | 회색, 청회색 |
| 토심(cm) | >50 | >20 | 20 ~ 50 | >100 | 20 ~ 80 | 20 ~ 70 |
| 경사(%) | <15 | <30 | <15 | <30 | <2 | <2 |
| 지하수위 (cm) | >50 | >50 | <50 | >100 | 20 ~ 100 | 20 ~ 80 |
| 보수일수 (日) | 4 ~ 7 | 0.5 ~ 3 | >7 | 2 ~ 7 | >7 | >7 |
| 심토의 석력 함량(%) | 없거나 있음<35 | 없거나 많음 <10, 35< | 없음 <10 | 없거나 많음 <10, 35< | 없음 <10 | 없음 <10 |
| 기타 | | 감수심이 크고 양분 용탈이 심함 | 습해 및 냉해 유발 | 지역이 낮음 | 염농도4dSm- 1 (25℃)이상 | 50cm 이하에 유산염의 집적층 |

표 2.1.28 밭토양의 유형별 분류기준

| 유형 | 보통답 | 사질답 | 습답 | 미숙답 | 염해답 | 특이산성답 |
|--------------|---|---|---|-------------------------------|--|---------------|
| 1.지형 | | | | | | |
| | 해안평탄지, 하평탄지, 곡간 및 선상지, 용암류 평탄지 | 해안평탄지, 하천변, 곡간 및 선상지, 산록경사지 | 홍적대지, 곡간지, 산록경사지, 구릉지, 용암류평탄 지 | 곡간 및 선상지, 산록경사지, 구릉지 | 고원지(단, Humic-epipe don이있는 토양) | 용암류대지, 분석구 |
| 2.토양조건 | | | | | | |
| 토성 | 식양토, 양토,사양토 | 사토, 역질토(단, 표토에 돌, 등근 바위<35%토 양 포함) | 식토, 식양토(단, 경반층이있 는 토양에 한함) | 식양토, 사양토, 역질토 | 식양토, 사양토, 역질토 | 미사질양토 |
| 토양배수 | 양호, 약간양호(단, 현 전토양에 한함) | 매우양호, 양호, 약간양호(단, 현 전토양에 한함) | 양호, 약간양호 | 매우양호, 양호 | 양호 | 양호 |
| 경사(%) | <30 | <30 | <30 | <30 | <30 | <30 |
| 토색 | 갈색 | 갈색 | 갈색, 적색 | 적색(단, 구릉지의 갈색 토양 포함) | 농암갈색, 후색 | 농암갈색, 후색 |
| 유효토심 (cm) | >50 | <50 | <50 | >20 | >20 | >20 |
| 침식정도 | 없거나 있음 | 없거나 있음 | 없거나 있음 | 없거나 있음 | 없음 | 없음 |

표 2.1.29 논과 밭토양의 유형구분 및 의미

| 유형구분 | | 의미 |
|-------------|-------|--|
| 논 토 양 | 보통논 | 주로 평탄지 및 곡간지에 분포하는 모래, 미사 및 점토함량이 알맞게 섞인(식질, 식양질, 미사식양질) 토지생산력이 높은 논토양 |
| | 사질논 | 주로 평탄지 및 곡간지에 분포하는 미사 및 점토함량에 비하여 모래함량이 많은(사양질, 미사사양질, 사질) 토지생산력이 낮은 논토양 |
| | 미숙논 | 주로 곡간 및 대지에 분포하는 점토함량이 많은(식질, 식양질) 토지생산력이 보통인 논토양 |
| | 습답 | 주로 평탄지 및 곡간지의 낮은 곳에 분포하는 물이 잘 빠지지 않은 토지 생산력이 낮은 논토양 |
| | 염해논 | 주로 하해혼성평탄지의 낮은 곳에 분포하는 염농도가 높고, 물이 잘 빠지지 않은 토지생산력이 매우 낮은 논토양 |
| | 특이산성논 | 주로 하해혼성평탄지에 분포하고, 물이 잘 빠지지 않으며, 심토에 유산염의 집적된 층이 있어 토지생산력이 매우 낮은 논토양 |
| 밭 토 양 | 보통밭 | 토성이 식양토, 양토 및 사양토로서 토심이 깊은 밭토양 |
| | 사질밭 | 모래나 자갈함량이 많은 토심이 보통인 밭토양 |
| | 미숙밭 | 토성이 식양토, 사양토 및 자갈이 많은 토심이 얇은 밭토양 |
| | 중점밭 | 점토함량이 비교적 많은 식토 및 식양토를 가진 토심이 보통인 밭토양 |
| | 고원밭 | 높은 산지에 분포하는 토양색깔이 농암회 갈색이나 흑색인 토심이 얇은 밭토양 |
| | 화산회밭 | 제주도와 울릉도에 있는 용암류대지 및 분석구에 분포하는 화산회로 이루어진 밭토양 |

표 2.1.30 우리나라 논과 밭토양

| 보통논 | 사질논 | 미숙논 | 습논 | 염해논 | 특이산성논 |
|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |
| 토지생산력이 매우 높으며, 벼 재배에 저해인자가 없는 논 | 점토함량이 적어 수분 및 양분을 지니는 힘이 약한 논 | 경작년수가 적어 토층분화가 덜 된 미숙한 논 | 지하수위가 높거나 물이 솟아 습해가 우려되는 논 | 간척지 토양으로 염해가(>4 dS/m) 우려되는 논 | 황산염 집적층이 100cm 이내에 있어 매우 강한 산성을 띠는 논 |
| (분포비율:31.9%) | (분포비율:31.9%) | (분포비율:23.0%) | (분포비율:9.1%) | (분포비율:3.9%) | (분포비율:0.2%) |
| 보통밭 | 사질밭 | 미숙밭 | 중점밭 | 고원밭 | 화산화밭 |
|  |  |  |  |  |  |
| 토지생산력이 매우 높으며, 밭작물재배에 저해인자가 없는 밭 | 점토함량이 적어 수분 및 양분을 지니는 힘이 약해 한밭이 우려되는 밭 | 경작년수가 적어 토층분화가 덜 된 미숙한 밭 | 점토함량이 많아 불투수층 형성으로 물과 공기의 이동이 느린 밭 | 해밭이 높은 곳에 위치하여 유기물의 분해가 느린 밭 | 회산회에서 유래된 토양으로 유기물 함량이 높은 밭 |
| (분포비율:42.0%) | (분포비율:23.3%) | (분포비율:17.5%) | (분포비율:13.9%) | (분포비율:1.1%) | (분포비율:2.2%) |

4.2 농지범용화 대상지 입지분석

앞서 조사하여 수집한 중분류 토지피복지도(환경부, 2007)와 정밀도양도 (농업과학원, 2007) 자료를 이용하여 농지범용화 대상지의 입지적 적합성을 고려하기 위해 공간적 중첩(Overlay) 기법을 통해 지형적 및 자연환경적 요인에 따른 분류도를 작성하고, 전국의 논과 밭(밭, 시설재배지, 과수원, 기타재배지 포함)의 토양배수등급별 면적을 산출하였다.

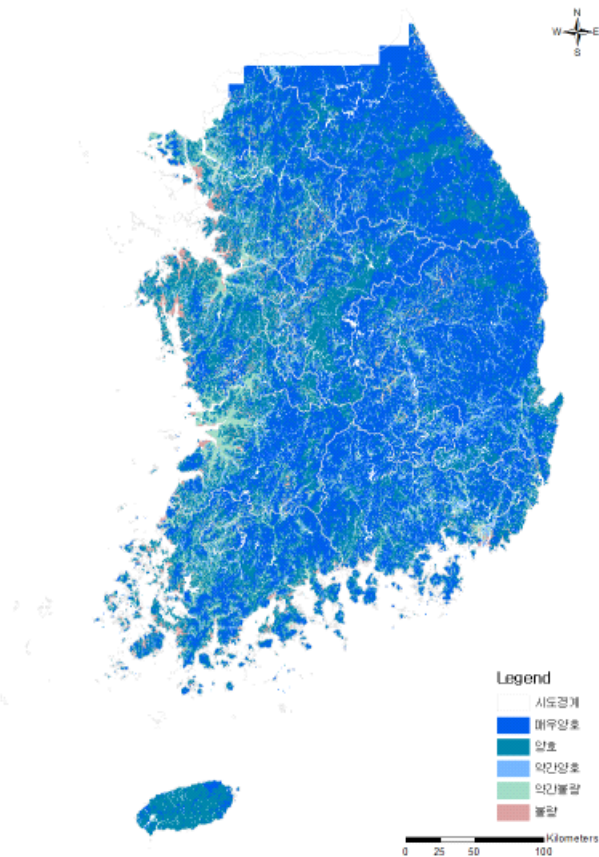


그림 2.1.44 토양배수등급도 (농업과학원, 2007)

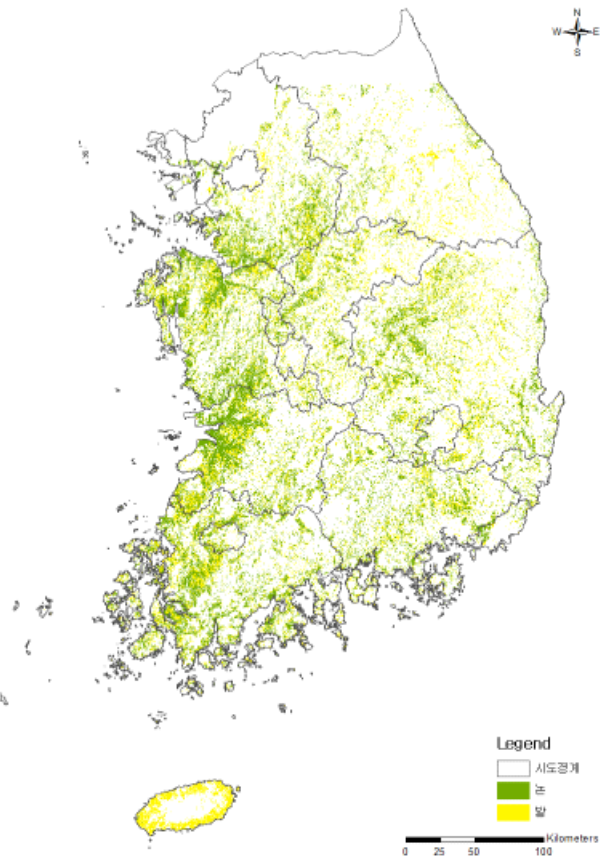


그림 2.1.45 논밭 분포도 (환경부, 2007)

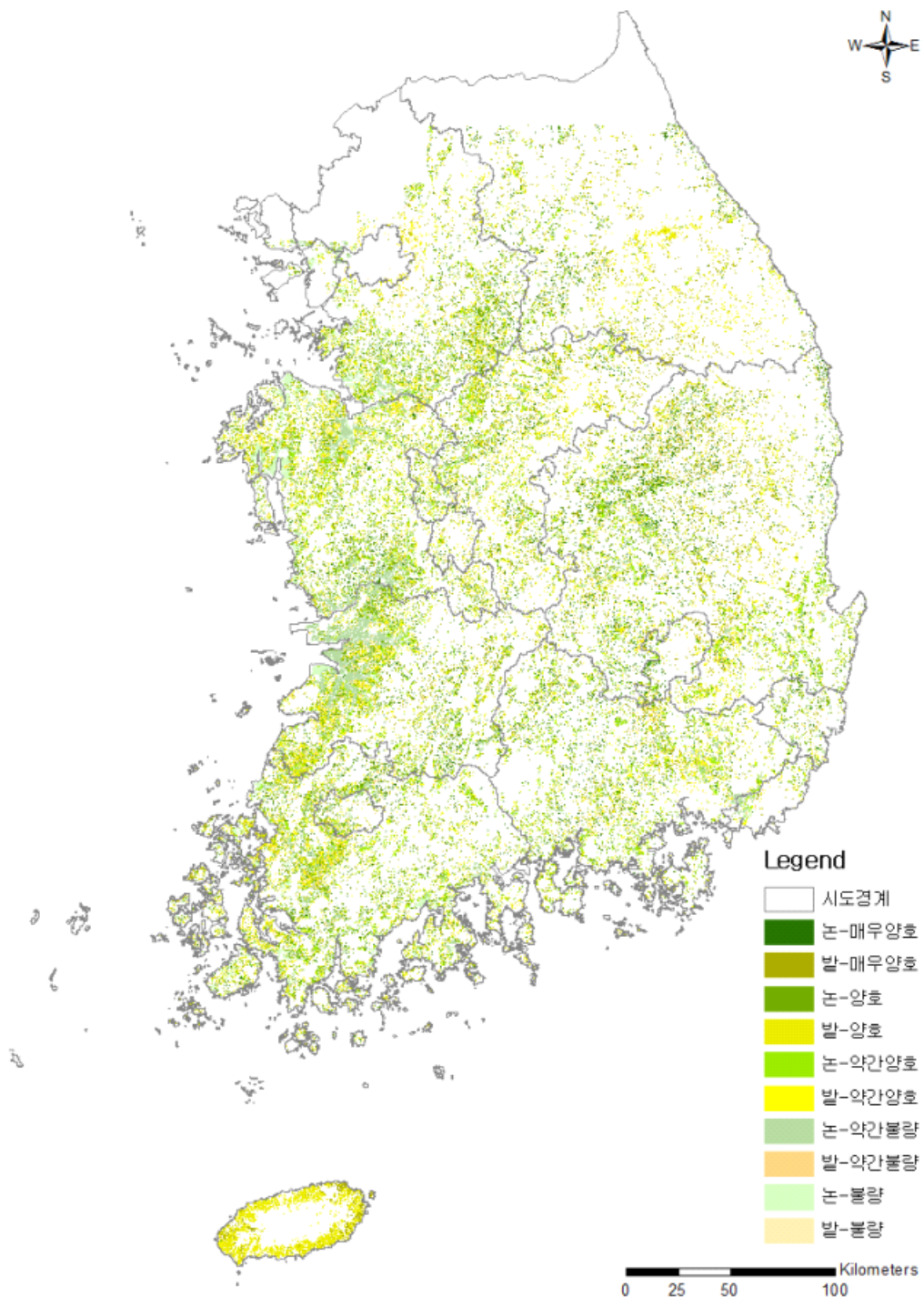


그림 2.1.46 전국 논밭의 배수등급 분류도

표 2.1.31 전국 시도별 논밭의 배수등급별 면적 (ha)

| 시도 | 구분 | 매우양호 | 양호 | 약간양호 | 약간불량 | 불량 |
|---------|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 서울특별시 | 논 | 4 | 231 | 96 | 565 | 10 |
| | 밭 | 223 | 905 | 212 | 371 | 71 |
| 부산광역시 | 논 | 317 | 1,442 | 1,818 | 2,869 | 922 |
| | 밭 | 715 | 1,503 | 1,310 | 642 | 182 |
| 대구광역시 | 논 | 3,130 | 1,635 | 1,247 | 1,570 | 0 |
| | 밭 | 4,462 | 1,336 | 860 | 989 | 1 |
| 인천광역시 | 논 | 189 | 1,318 | 243 | 2,232 | 1,826 |
| | 밭 | 247 | 1,220 | 194 | 511 | 245 |
| 광주광역시 | 논 | 1,432 | 2,577 | 1,047 | 3,986 | 180 |
| | 밭 | 1,260 | 2,345 | 498 | 1,785 | 110 |
| 대전광역시 | 논 | 728 | 1,071 | 626 | 585 | 102 |
| | 밭 | 1,590 | 1,762 | 761 | 585 | 153 |
| 울산광역시 | 논 | 3,582 | 3,398 | 1,305 | 1,949 | 319 |
| | 밭 | 2,677 | 2,631 | 523 | 1,120 | 185 |
| 세종특별자치시 | 논 | 972 | 3,911 | 1,475 | 1,783 | 846 |
| | 밭 | 904 | 3,262 | 609 | 770 | 374 |
| 경기도 | 논 | 14,367 | 43,978 | 15,389 | 30,815 | 14,839 |
| | 밭 | 16,215 | 40,629 | 8,684 | 11,210 | 6,039 |
| 강원도 | 논 | 17,356 | 14,098 | 8,131 | 4,829 | 1,727 |
| | 밭 | 38,532 | 45,153 | 6,716 | 2,993 | 1,072 |
| 충청북도 | 논 | 16,645 | 27,615 | 16,374 | 13,729 | 4,168 |
| | 밭 | 28,129 | 42,150 | 9,514 | 8,097 | 2,530 |
| 충청남도 | 논 | 12,647 | 72,603 | 23,279 | 60,572 | 33,740 |
| | 밭 | 10,660 | 66,027 | 10,871 | 18,057 | 6,352 |
| 전라북도 | 논 | 15,855 | 50,580 | 24,227 | 79,628 | 12,190 |
| | 밭 | 16,269 | 46,982 | 12,442 | 15,750 | 4,201 |
| 전라남도 | 논 | 18,369 | 82,599 | 31,377 | 57,778 | 29,378 |
| | 밭 | 22,876 | 90,342 | 14,865 | 24,872 | 6,936 |
| 경상북도 | 논 | 60,875 | 45,833 | 44,495 | 30,067 | 10,482 |
| | 밭 | 87,093 | 54,851 | 33,594 | 17,122 | 3,840 |
| 경상남도 | 논 | 27,449 | 39,871 | 35,634 | 26,928 | 2,801 |
| | 밭 | 26,604 | 36,172 | 19,149 | 11,577 | 1,132 |
| 제주특별자치도 | 논 | 33 | 258 | 51 | 32 | 16 |
| | 밭 | 11,464 | 58,816 | 1,256 | 186 | 89 |

전국의 논 면적 12,272 km², 밭면적 10,382 km²이며 배수등급이 매우 양호한 지역은 논 1,940 km², 밭 2,699 km² 였으며, 반면 배수등급이 약간 불량한 논은 3,199 km², 밭은 1,166 km²로 나타났고, 불량한 논은 1,135 km², 밭은 335 km²로 나타났다. 시도별로 배수등급이 약간불량 또는 불량인 논을 살펴보면, 약간불량과 불량인 논 면적인 4,335 km²의 약 74%를 충청남도

(943 km²), 전라북도 (918 km²), 전라남도 (872 km²), 경기도 (457 km²)에서 차지하고 있었으며, 밭의 경우에도 배수등급이 약간불량과 불량 등급인 밭 면적 1,501 km²의 약 76%를 전라남도 (318 km²), 충청남도 (244 km²), 경상북도 (210 km²), 전라북도 (200km²), 경기도 (172 km²)에서 차지하는 것으로 나타났다. 배수등급이 불량 경우만을 살펴보면, 논의 경우 충청남도 (337 km²), 전라남도 (294 km²), 경기도 (148 km²), 전라북도 (122 km²), 경상북도 (105 km²) 순으로 각각 전체 논면적의 2.7%, 2.4%, 1.2%, 1.0%, 0.9%에 해당하는 면적이었다. 배수등급이 불량한 밭은 전라남도 (69 km²), 충청남도 (64 km²), 경기도 (60 km²), 전라북도 (42 km²), 경상북도 (38 km²)순으로 나타났다.

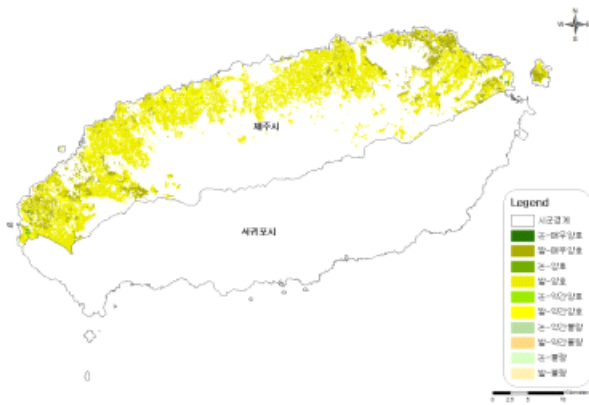
전국 밭면적을 살펴보면 2015년 기준 전국 770,829 ha 중 제주시, 서귀포시, 안동시, 해남군, 상주시, 고창군, 의성군, 무안군, 영천시, 신안군이 밭면적이 가장 높은 10개 시군에 해당되었으며, 이 시군의 논과 밭의 배수등급별 면적을 살펴보면 다음과 같다.

표 2.1.32 전국 밭면적 현황 (2015, 국가통계포털)

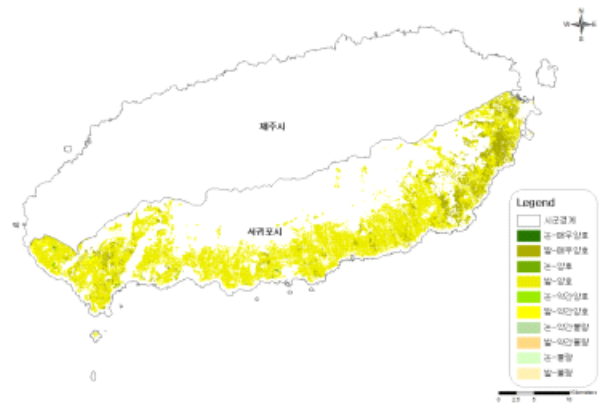
| 순위 | 시군 | 밭면적 (ha) |
|-----|------|----------|
| 1 | 제주시 | 31,422 |
| 2 | 서귀포시 | 31,202 |
| 3 | 안동시 | 13,698 |
| 4 | 해남군 | 12,627 |
| 5 | 상주시 | 12,308 |
| 6 | 고창군 | 10,517 |
| 7 | 의성군 | 10,390 |
| 8 | 무안군 | 10,330 |
| 9 | 영천시 | 10,302 |
| 10 | 신안군 | 10,008 |
| 11 | 김천시 | 9,796 |
| 12 | 평창군 | 8,985 |
| 13 | 영주시 | 8,967 |
| 14 | 경산시 | 8,834 |
| 15 | 봉화군 | 8,829 |
| 163 | 군포시 | 121 |
| 164 | 계룡시 | 119 |
| 165 | 안양시 | 75 |

표 2.1.33 발면적 상위 10개 시군의 배수등급별 면적 (ha)

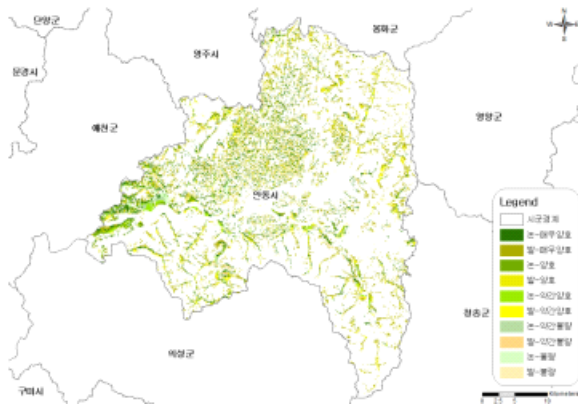
| 시도 | 구분 | 매우양호 | 양호 | 약간양호 | 약간불량 | 불량 |
|------|----|--------|--------|-------|-------|-------|
| 제주시 | 논 | 25 | 149 | 33 | 26 | 11 |
| | 밭 | 6,076 | 29,134 | 821 | 97 | 26 |
| 서귀포시 | 논 | 8 | 109 | 18 | 7 | 5 |
| | 밭 | 5,388 | 29,682 | 434 | 90 | 63 |
| 안동시 | 논 | 5,987 | 2,418 | 1,021 | 1,226 | 509 |
| | 밭 | 11,924 | 3,960 | 1,087 | 1,308 | 327 |
| 해남군 | 논 | 866 | 9,134 | 4,026 | 3,982 | 4,742 |
| | 밭 | 1,182 | 11,278 | 1,647 | 2,402 | 1,012 |
| 상주시 | 논 | 5,331 | 6,522 | 3,897 | 2,282 | 2,157 |
| | 밭 | 5,346 | 4,554 | 1,252 | 1,349 | 690 |
| 고창군 | 논 | 729 | 6,648 | 3,318 | 5,110 | 1,922 |
| | 밭 | 931 | 8,447 | 2,656 | 2,844 | 992 |
| 의성군 | 논 | 8,893 | 3,439 | 3,323 | 3,716 | 98 |
| | 밭 | 6,475 | 3,317 | 2,226 | 1,574 | 23 |
| 무안군 | 논 | 254 | 3,914 | 260 | 1,907 | 3,233 |
| | 밭 | 699 | 8,305 | 423 | 2,128 | 561 |
| 영천시 | 논 | 2,746 | 1,845 | 3,641 | 790 | 0 |
| | 밭 | 4,675 | 3,008 | 3,659 | 926 | 0 |
| 신안군 | 논 | 702 | 4,248 | 89 | 3,108 | 2,318 |
| | 밭 | 2,295 | 6,635 | 174 | 1,961 | 1,029 |



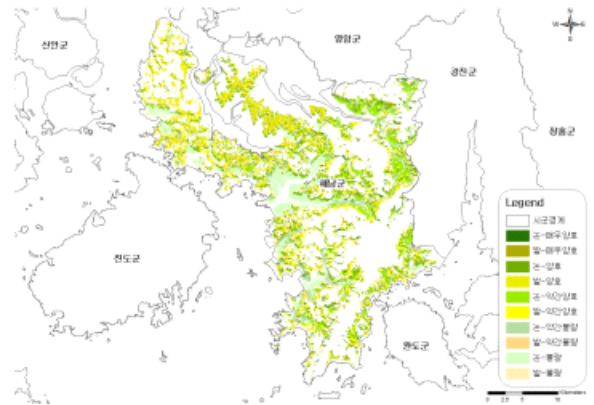
(a) 제주시



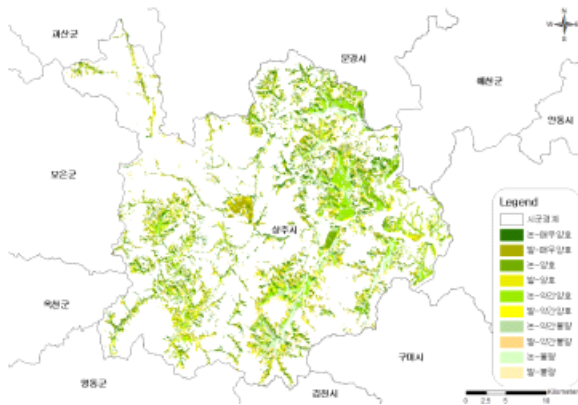
(b) 서귀포시



(c) 안동시



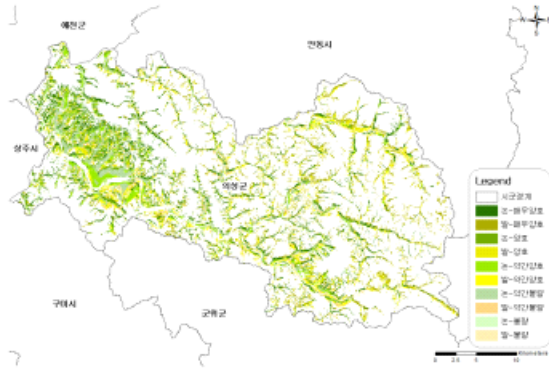
(d) 해남군



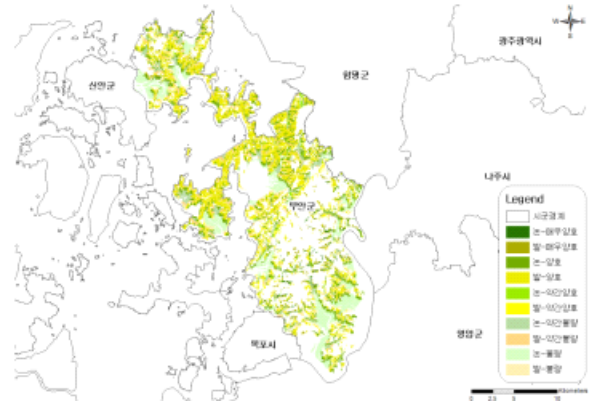
(e) 상주시



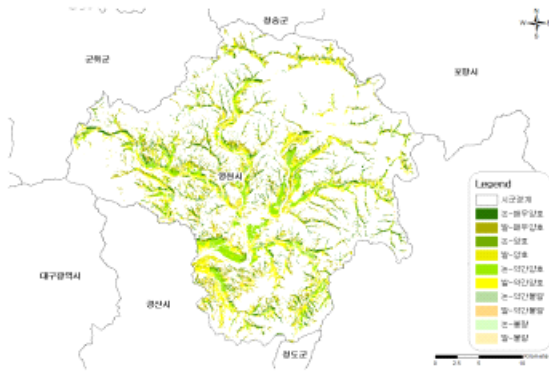
(f) 고창군



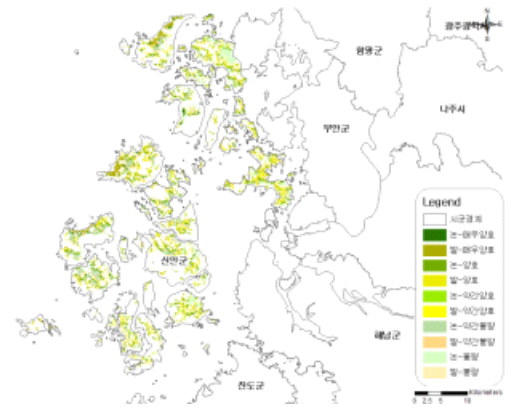
(g) 의성군



(h) 무안군



(i) 영천시



(j) 신안군

그림 2.1.47 시군별 논밭의 배수등급 분류도

제2절 스마트 토양수분제어 테스트베드 구축

1. 테스트베드 개요

1.1 테스트베드 위치

테스트베드를 대상지는 경북 상주시 함창읍 태봉리에 위치하며 이안천 변에 위치하며 논으로 사용하던 경지를 현재 밭으로 사용하고 있는 곳으로 본 연구 목적인 범용화 대상지구로 판단하여 선정하였다. 강우가 집중되는 시기에는 지하수위 상승에 따른 침수피해가 예상되어 지하배수 시설이 필요한 것으로 판단되고 경지에 관정이 있고 배수로가 정비되어 본 연구의 스마트 토양수분제어를 위한 관개 및 배수시설을 설치하기 용이한 곳이다.

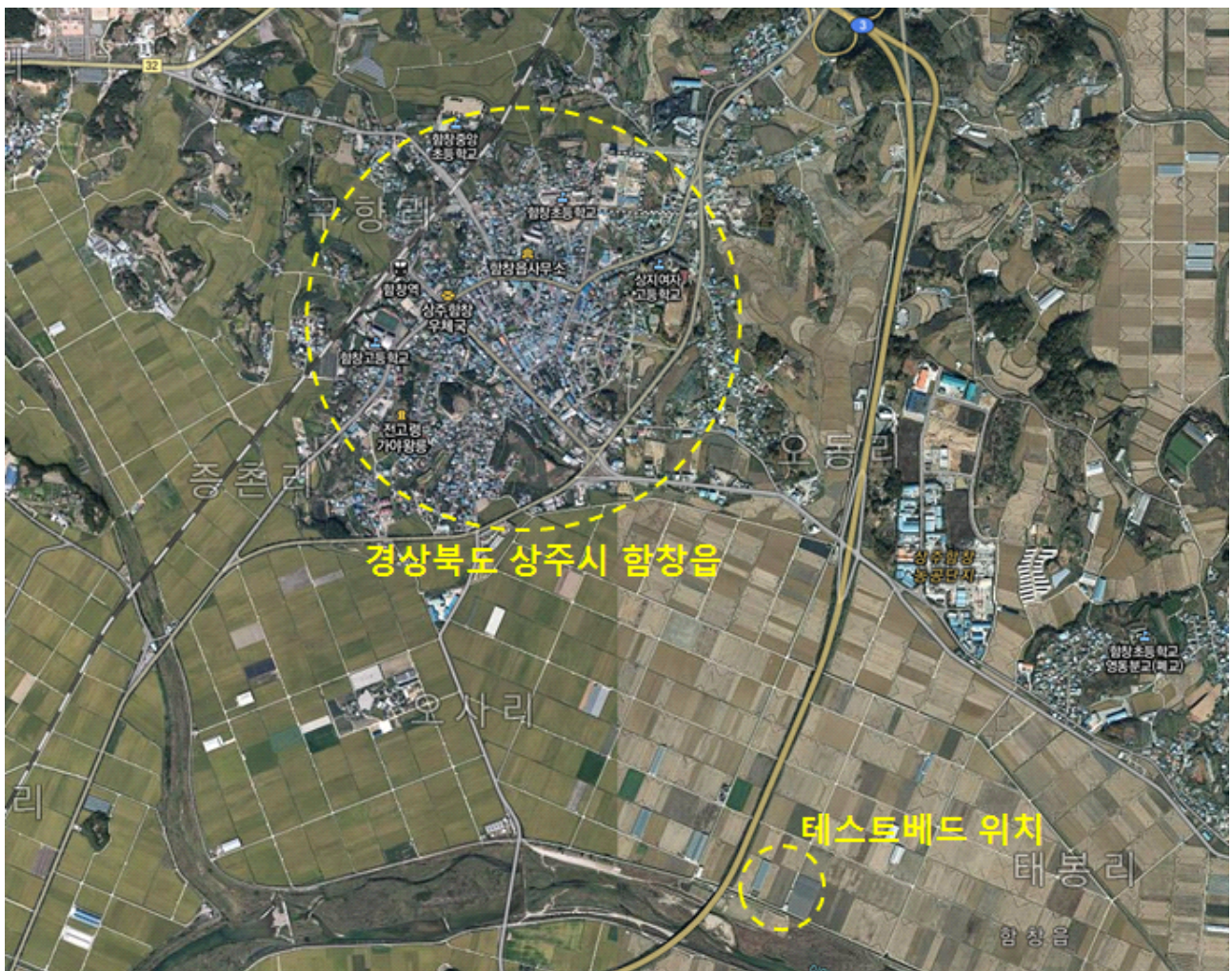


그림 2.2.1 테스트베드 지구 현황

1.2 테스트베드 현황

가. 위치 및 인문사회 현황

(1) 지리적 위치

본 지구의 사업구역은 경상북도 상주시 함창읍 태봉리 664-4번지로 상주시에 속하지만 문경시에 인접한 위치이고 3번 국도변에 위치하고 있다. 중부내륙고속도로의 점촌함창 IC에서 8.0 km, 북상주 IC에서 4.0 km 거리에 위치하고 있다.



그림 2.2.2 테스트베드 대상지구 위치

(2)나. 인문사회 및 기후 현황

· 인문사회 현황

본 지구의 관할구역인 상주시 전체인구는 통계연보에 의하면 45,845가구에 인구가 125,481인에 이르고, 테스트베드 대상지인 함창읍의 경우 3,169세대에 6,762인이 거주하는 것으로 나타났다(이상 2015년 통계연보).

표 2.2.1 경북 상주시 경지면적 및 농가인구 변화 추이(2015년 통계연보, 상주시 홈페이지)

| 구 분 | 단위 | 2014 | 2013 | 2012 | 2011 | 2010 |
|-----------|----|---------|---------|---------|---------|---------|
| ◎ 상주시면적① | ha | 125,481 | 125,479 | 125,478 | 125,482 | 125,486 |
| - 비율(②/①) | % | 21.25 | 21.35 | 21.38 | 21.42 | 21.39 |
| - 소 계② | ha | 26,663 | 26,788 | 26,822 | 26,881 | 26,841 |
| · 답 | ha | 18,062 | 18,183 | 18,210 | 18,275 | 18,274 |
| · 전 | ha | 8,601 | 8,605 | 8,612 | 8,606 | 8,567 |
| ◎ 호당경지면적 | a | 180.1 | 175.8 | 175.4 | 164.5 | 164.7 |
| ◎ 총 인 구③ | 명 | 103,798 | 103,346 | 104,963 | 105,501 | 106,440 |
| ◎ 농가인구④ | 명 | 34,034 | 35,311 | 36,686 | 35,124 | 38,508 |
| - 비율(④/③) | % | 32.79 | 34.17 | 34.95 | 33.29 | 36.18 |
| ◎ 농가호수 | 호 | 14,547 | 14,975 | 15,258 | 14,711 | 15,903 |

상주시 합창읍은 상주시 125,481ha 중 3.5%인 4,337ha의 면적을 차지하고 토지이용현황은 다음 표와 같다.

표 2.2.2 토지이용 현황(상주시 통계연보, 2015년, 단위 : ha)

| 구 분 | 계 | 농 경 지 | | | 과수원 | 임 | 기 타 |
|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|
| | | 소 계 | 답 | 전 | | | |
| 상주시 | 125,481 | 26,663 | 18,062 | 8,601 | 859 | 83,098 | 14,861 |
| 합창읍 | 4,337 | 1,745 | 1,361 | 384 | 28 | 1,657 | 906 |
| (비율, %) | (100) | (40.25) | (31.39) | (8.85) | (0.65) | (38.22) | (20.89) |

· 기후 및 기상

테스트베드 대상지구 인접지역에는 문경, 보은, 추풍령관측소가 있으나 지형적인 여건과 인근관측소의 강우형상을 고려하여 검토한 결과 지구여건에 부합하는 문경관측소를 선정하였다. 문경관측소는 1973 ~ 2014년까지 42개년의 강우자료가 구축되어 있고, 연평균강수량은 1,250.30mm로 나타나고 있다. 본 지구는 한반도의 동남부, 경상북도의 서북부 내륙에 위치한 관계로 대륙성 기후에 접근하고 있으며, 삼한 사온이 뚜렷하다. 연평균 기온은 11.4℃ 이고, 평균 여름의 8월에는 24.1℃, 겨울철인 1월에는 -2.7℃ 까지 변화한다. 평균 강우일수는 98.9일 이고 연평균 강수량은 1,250.30mm에 이르는 것으로 나타났다.

표 2.2.3 테스트베드 대상지 일반기상

| 월 별 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 | 전 년 |
|------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|----------|
| 평균 기온(℃) | -2.7 | -0.2 | 5 | 11.8 | 16.9 | 21 | 23.9 | 24.1 | 19 | 12.7 | 5.8 | -0.5 | 11.4 |
| 평균강수량(mm) | 21.7 | 29.2 | 50.1 | 89.2 | 106.5 | 170.3 | 287.8 | 255.5 | 132.1 | 47.2 | 39.1 | 21.5 | 1,250.30 |
| 평균강수일수(일) | 5.1 | 5.5 | 7.4 | 7.9 | 8.1 | 9.5 | 15 | 13.7 | 8.6 | 5.5 | 6.8 | 5.7 | 98.9 |
| 평균 풍속(m/s) | 2.1 | 2.1 | 2.1 | 2 | 1.6 | 1.3 | 1 | 1 | 1.1 | 1.3 | 1.6 | 2 | 1.6 |

표 2.2.4 테스트베드 대상지 특수기상

| 구 분 | 제 1 위 | | 제 2 위 | | 제 3 위 | | 비 고 |
|-------------------|---|-------|------------------------------------|-----|------------------------------------|-------|-----|
| | 발생일 | 발생량 | 발생일 | 발생량 | 발생일 | 발생량 | |
| 최 대 시 우 량 | 1995.08.15 | 64.5 | 1994.08.28 | 47 | 1992.08.08 | 45 | |
| 최대 10분 강우 | 1974.07.31 | 30 | 1995.08.15 | 23 | 1990.08.20 | 21.5 | |
| 최 대 일 우 량 | 1987.07.22 | 173.3 | 2003.07.09 | 161 | 2013.06.18 | 159.5 | |
| - 관 개 기 | 1987.07.22 | 173.3 | 2003.07.09 | 161 | 2013.06.18 | 159.5 | |
| - 비관개기 | 1977.04.24 | 95.4 | 2002.04.30 | 80 | 2003.04.25 | 78 | |
| 최대 2일 강우 | 2002.08.06 | 244 | 2004.06.19 | 242 | 1987.07.22 | 239.7 | |
| 최대 3일 강우 | 2004.06.19 | 285.5 | 2011.06.23 | 275 | 1987.07.21 | 272.5 | |
| 강수 계속 일수 | 2006.07.04 ~ 2006.07.21 (18일) | | 1980.08.07 ~ 1980.08.21 (15일) | | 2007.08.26 ~ 2007.09.07 (13일) | | |
| 무강수계속일수 | 1977.01.01 ~ 1977.03.01 (60일) | | 1984.01.04 ~ 1984.02.21 (49일) | | 1987.09.11 ~ 1987.10.14 (34일) | | |
| 일최저기온<0℃ (얼 음) | 최장기계속기간 2010.11.26 ~ 2011.02.26 (93일) | | 첫날(가장이름) 1989.10.17 | | 마지막날(가장늦음) 1990.04.27 | | |

나. 영농현황 및 특성

(1) 영농인구

상주시의 농가는 14,547가구(3.17%)이고 농업인구가 34,034인(2.71%)이 종사하고, 농가당 경지면적은 180.1a로 나타났다. 농업인구는 점차적 감소하는 것을 볼 수 있다.

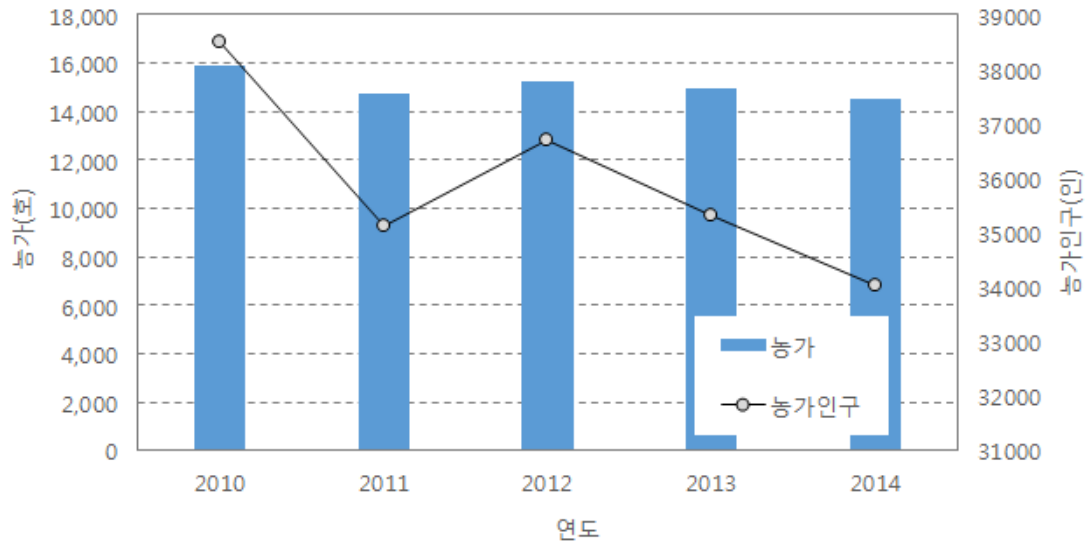


그림 2.2.3 상주시 농가인구 변화

(2) 주요 작물별 재배면적

상주시 농경지는 대부분의 미곡류 생산에 사용되고 있으며 다음으로 두로, 채소류 등이 생산되고 있는 것으로 나타났다.

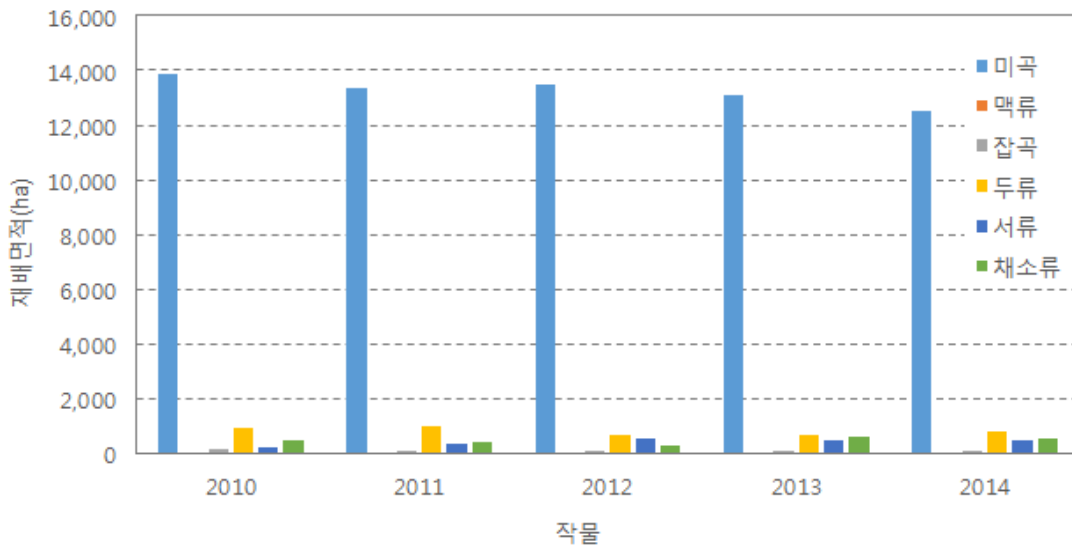


그림 2.2.4 상주시 주요작물 재배면적

다. 토양특성

토양환경정보 시스템인 ‘흙토람’은 농촌진흥청에서 생산, 배포하고 있는 토양, 농업환경 정보 데이터베이스와 조사, 연구 경험을 종합한 토양환경정보 시스템으로, 토양특성에 맞는 작물을 재배할 수 있도록 토양정보를 제공하는 포털이다. 본 연구의 테스트베드 대상지구 일대의 토양환경지도는 다음과 같다.

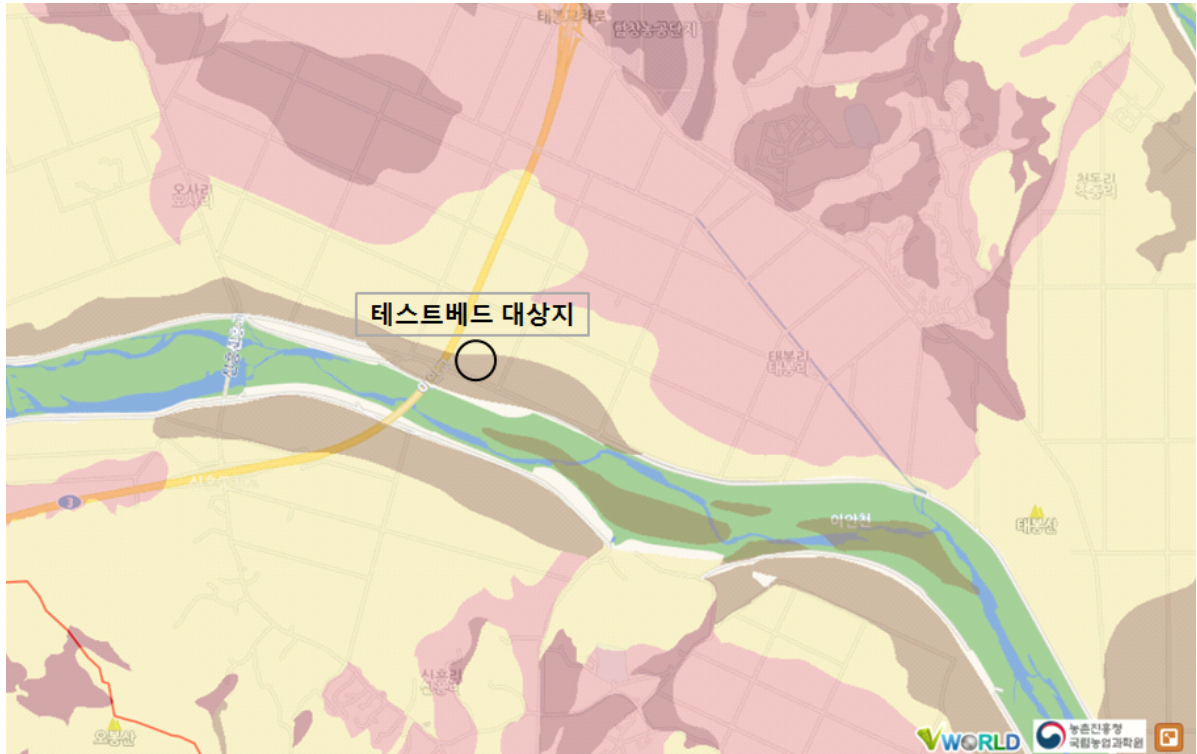


그림 2.2.5 테스트베드 대상지 일대의 토양환경지도(흙토람)

테스트베드는 장천 토양통과 강서 토양통에 걸쳐 분포하고 있는 것으로 나타났으며 각 토양통의 특성은 다음과 같다.

(1) 강서통(GANGSEO SERIES)

강서통은 미국 Soil Taxonomy 분류에 의하면 coarse loamy, mixed, mesic family of Anthraquic Eutrudepts에 속하며, FAO/WRB 분류에 의하면 Fluvic Hydragric Anthrosols(Eutric Oxyaquic)에 속한다. 표토는 암회색의 세사양토이며 황갈색의 반문이 있고 심토1(BA)는 올리브갈색의 세사양토이며 진갈색의 반문이 있다. 심토2(Bw1)은 갈색의 미사 질양토이며 갈색의 반문이 있고 심토3(Bw2)은 갈색의 세사양토이며 암회색의 반문이 있다. 모재는 하성충적층이며 암황갈색의 세사양토이고 회색의 반문이 있다. 이 토양은 내륙의 하성평탄지에서 발달한다.



그림 2.2.6 강서통 대표토양의 단면

- 특성의 범위

강서통은 오크릭층과 캠빅층을 보유하며 토층은 100-150cm이며 암반까지의 깊이는 5m 이상이다. 염기포화도는 60%이상이며, 토양반응은 약산성내지 중성이다. 표토는 회갈색, 암회색, 올리브회색 또는 세사양토 또는 양토이며 갈색의 반문이 있다. 심토는 반문이 있으며 갈색, 암황갈색, 황갈색 또는 회갈색의 사양토 또는 양토이다. 모재는 반문이 있으며, 갈색, 회갈색, 또는 회색의 세사양토 또는 양토이다.

- 유사토양과의 차이

강서통의 유사토양은 중동, 본량, 은곡통이며 중동통과 본량통은 양호이며, 50cm 아래에 사토 층상을 가진다. 은곡통은 곡간지 층적평탄지이며, 산성결정암으로 부터 기인한다.

- 통의 설정

강서통은 주로 층적물로부터 기인하며 넓은 내륙의 하성평탄지의 경사가 완만한 곳에 위치하며 경사는 2%이만이며, 평균 1%이다.

- 유사토양과의 연쇄성

유사토양연쇄성은 규암, 청원, 석천통은 내륙에 분포하고, 중동통은 비슷한 지역이며 함창통은 배수가 불량하다..

- 토양배수 및 투수성

배수는 약간양호이며, 투수성은 약간 빠르며, 유거는 느리다.

- 토지이용 및 식생
주로 벼나 보리를 재배한다.

- 분포면적
강서통의 분포면적은 전국 내륙의 하성평탄지에 분포하며 적당한 면적이 분포한다.

- 대표토양의 물리적 특성

표 2.2.5 강서통 대표토양의 물리적 특성

| 토층 | 토심 | 입경(%) | | | | 용적밀도 (Mg/m ³) | 수분장력(kPa) | | |
|---------|---------|-------|------|------|-----|------------------------------|-----------|----|------|
| | | 모래 | 미사 | 점토 | 토성 | | 10 | 33 | 1500 |
| 표토(Ap) | 0-20 | 57.5 | 30.5 | 12 | 사양토 | 1.16 | | | |
| 심토1(BA) | 20-31 | 47.8 | 38.6 | 13.6 | 양토 | 1.46 | | | |
| 심토2(Bw) | 31-52 | 43.8 | 45 | 11.2 | 양토 | 1.45 | | | |
| 심토3(BC) | 52-102 | 56.7 | 33.9 | 9.5 | 사양토 | 1.44 | | | |
| 모재(C) | 102-150 | 58.1 | 32.1 | 9.7 | 사양토 | 1.42 | | | |

- 대표토양의 화학적 특성

표 2.2.6 강서통 대표토양의 화학적 특성

| 토층 | 토양반응 | | 유기물 (g/kg) | 염기치환용량 (cmol/kg) | 치환성양이온(me/100g) | | | | 염기포화도 (%) |
|---------|---------------------------|-----------|---------------|---------------------|-----------------|-----|-----|-----|--------------|
| | H ₂ O (1:1) | 1N KCl | | | Ca | Mg | k | Na | |
| 표토(Ap) | 5.3 | 4.1 | 19.9 | 7.8 | 2.8 | 0.6 | 0.2 | 0.2 | 48.7 |
| 심토1(BA) | 6.0 | 4.3 | 9.8 | 7.4 | 3.9 | 0.7 | 0.2 | 0.2 | 67.6 |
| 심토2(Bw) | 6.2 | 4.6 | 8.9 | 8.3 | 5.3 | 0.8 | 0.1 | 0.2 | 78.2 |
| 심토3(BC) | 6.4 | 4.8 | 7.9 | 7.0 | 4.7 | 0.8 | 0.1 | 0.2 | 83.5 |
| 모재(C) | 6.8 | 4.8 | 7.2 | 7.6 | 5.4 | 1.3 | 0.1 | 0.1 | 90.8 |

(2) 장천통(JANGCHEON SERIES)

장천통은 미국 Soil Taxonomy 분류에 의하면 mixed, mesic family of Aquic Quartzipsamments에 속하며, FAO/WRB 분류에 의하면 Hydragic Anthrosols(Eutric Oxyaquic Arenic)에 속한다. 표토는 얇고 올리브회색의 세사토이며 모재는 올리브갈색과 회갈색의 세사토, 양질세사토, 중사토이다. 이 토양은 내륙의 하상저지에 위치한다.



그림 2.2.7 장천통 대표토양의 단면

- 특성의 범위

장천통은 오크리층을 보유하며 토양깊이는 2-3m 이상이다. 토양반응은 강산성 내지 약한 산성이며 염기포화도는 60% 이상이다. 표토는 올리브회색, 회갈색 또는 암회갈색의 세사토, 양질세사토 또는 사양토이며 모재는 갈색, 황갈색, 올리브갈색, 올리브황색, 명올리브갈색이며 회색 반문이 있다.

- 유사토양과의 차이

장천통의 유사토양은 금천, 낙동, 신담, 화봉, 남계, 강서, 오펡통이다. 금천통은 더조립질이며, 수분보유력이 없고 낙동통은 배수를 제외하고는 유사하다. 신담통은 배수가 더 나쁘며, 조립질이며 화봉통은 배수가 더 나으며 더 조립질이다. 남계통은 석력질이며 강서통은 사양질이다. 오펡통은 미사사양질/사질이다.

- 통의 설정

장천통은 하상저지인 내륙의 넓은 하성충적평탄지에 경사가 완만하거나 매우 완만한 곳에 위치하며 경사범위는 0-2%, 주된 경사는 1-2% 이다.

- 유사토양과의 연쇄성

유사토양의 연쇄성은 금천, 낙동, 화봉, 오펡, 강서, 본량통이 유사한 위치에 연결한다.

- 토양배수 및 투수성

배수는 약간불량이며, 투수성은 빠르거나 매우 빠르며 유거는 느리다.

- 토지이용 및 식생
주로 논으로 이용된다.

- 분포면적
장천통의 분포면적은 전국의 넓은 범람평탄지에 좁은 면적으로 분포한다.

- 대표토양의 물리적 특성

표 2.2.7 강서통 대표토양의 물리적 특성

| 토층 | 토심 | 입경(%) | | | | 용적밀도 (Mg/m ³) | 수분장력(kPa) | | |
|---------|--------|-------|-----|-----|----|------------------------------|-----------|-----|------|
| | | 모래 | 미사 | 점토 | 토성 | | 10 | 33 | 1500 |
| 표토(Ap) | 0-8 | 86.7 | 6.4 | 2.9 | 사토 | | 10.9 | 8 | 2.9 |
| 모재1(C1) | 8-20 | 91.5 | 5.6 | 2.9 | 사토 | | 10.7 | 7.5 | 2.7 |
| 모재2(C2) | 20-65 | 96.5 | 5.0 | 1.5 | 사토 | | 7.0 | 4.5 | 2.4 |
| 모재3(C3) | 65-120 | 92.6 | 2.5 | 1.9 | 사토 | | 10.6 | 6.8 | 2.9 |

- 대표토양의 화학적 특성

표 2.2.8 강서통 대표토양의 화학적 특성

| 토층 | 토양반응 | | 유기물 (g/kg) | 염기치환용량 (cmol/kg) | 치환성양이온(me/100g) | | | | 염기포화도 (%) |
|---------|---------------------------|-----------|---------------|---------------------|-----------------|------|------|------|--------------|
| | H ₂ O (1:1) | 1N KCl | | | Ca | Mg | k | Na | |
| 표토(Ap) | 5.3 | 4.1 | 2.5 | 3.05 | 1.29 | 0.35 | 0.08 | 0.07 | 58.7 |
| 모재1(C1) | 5.4 | 3.9 | 1.8 | 2.95 | 1.11 | 0.28 | 0.08 | 0.09 | 52.9 |
| 모재2(C2) | 6.6 | 5.0 | 1.2 | 2.75 | 2 | 0.43 | 0.10 | 0.07 | 94.5 |
| 모재3(C3) | 6.6 | 4.7 | 1.2 | 3.90 | 2.63 | 0.58 | 0.09 | 0.09 | 89.9 |

2. 테스트베드 설계

2.1 테스트베드 평면계획 및 대조구 설계

테스트베드는 스마트 토양수분제어에 따른 작물의 생육의 차이를 비교하기 위하여 3개의 대조구를 구성하였다. 스마트 토양수분 제어는 관개 및 배수를 제어하는 구역과 관개만 제어하는 구역으로 구분하였다.

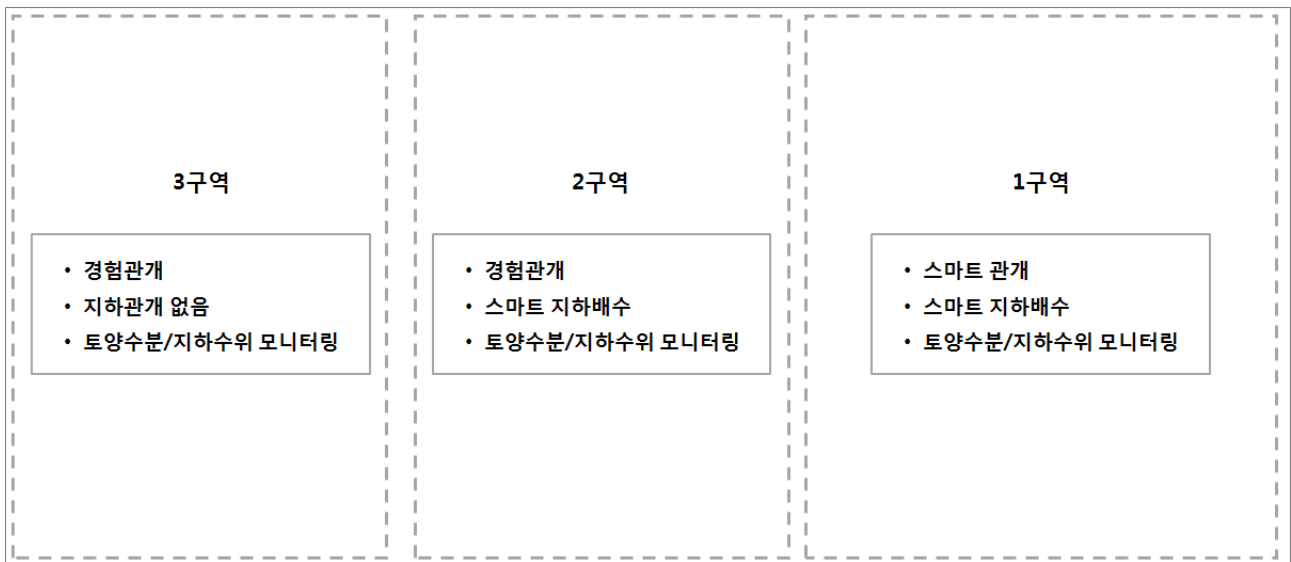


그림 2.2.8 스마트 토양수분제어 테스트베드 대조구 설계

대조구는 3개로 구성하고 각각의 대조구는 관개 및 배수의 제어에 따른 작물의 생육 및 관개용수량 등을 비교할 수 있도록 계획하였다. 구역1은 스마트 관개 및 지하배수를 수행하는 구역이며, 구역2는 경험적인 관개를 수행하고 지하암거를 통한 스마트 배수시스템을 적용한 구역이다. 마지막으로 구역3은 영농에 있어서 경험적으로 수행하던 방식대로 스프링클러 관개를 수행하고 지하암거를 통한 지하배수를 수행하지 않는 구역이다. 각 구역의 중심에는 관개 및 지하배수에 따른 토양수분 및 지하수위의 변화를 모니터링하기 위한 토양수분센서와 지하수위계를 설치하도록 하였다.

토양수분센서는 심도 10, 20, 30, 40cm에 수분센서가 있는 층위별 센서를 계획하고 40cm 심도의 층위센서는 지하수위 감지용으로 계획하였다. 다음은 각 구역에서 지하수위와 토양수분 센서의 배치계획을 나타낸다.

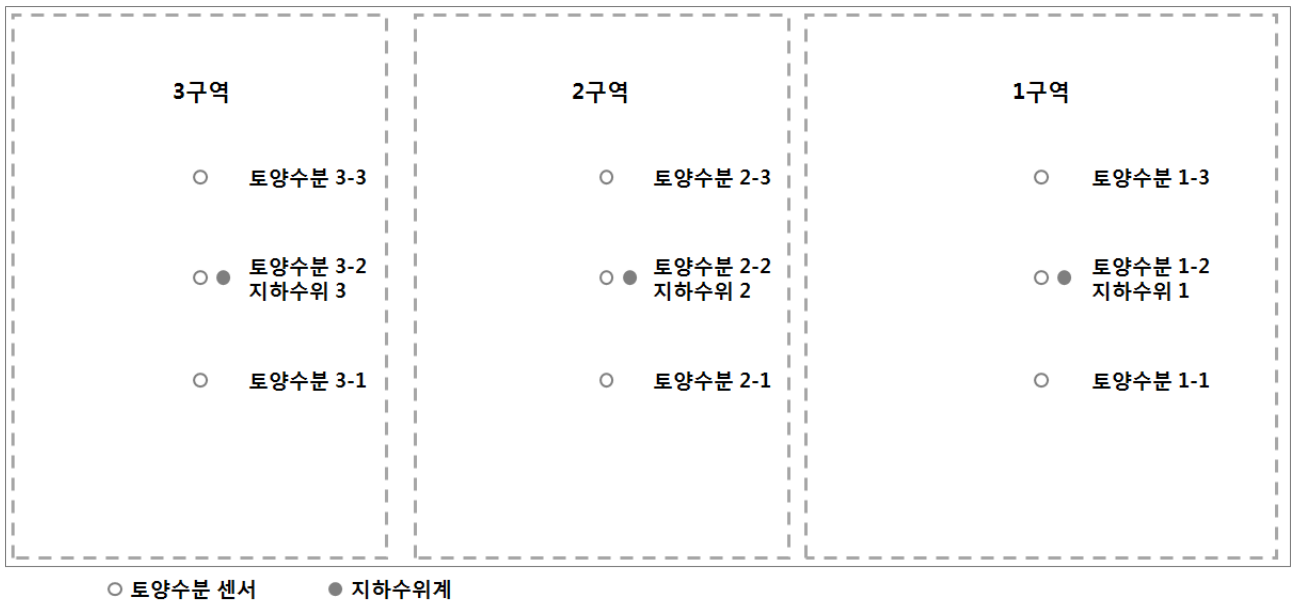


그림 2.2.9 스마트 토양수분제어 테스트베드 대조구별 센서 계획

2.2 테스트베드 관개시스템 설계

다음은 테스트베드의 관개시스템의 배치계획이다. 스마트관개배수 제어를 위한 구역1에 대해서는 별도의 제어반과 용수저장 시설을 설치하고 경험관개를 수행하는 구역2와 구역3에서는 테스트베드를 지나가는 용수로의 용수를 직접 사용하도록 하였다.

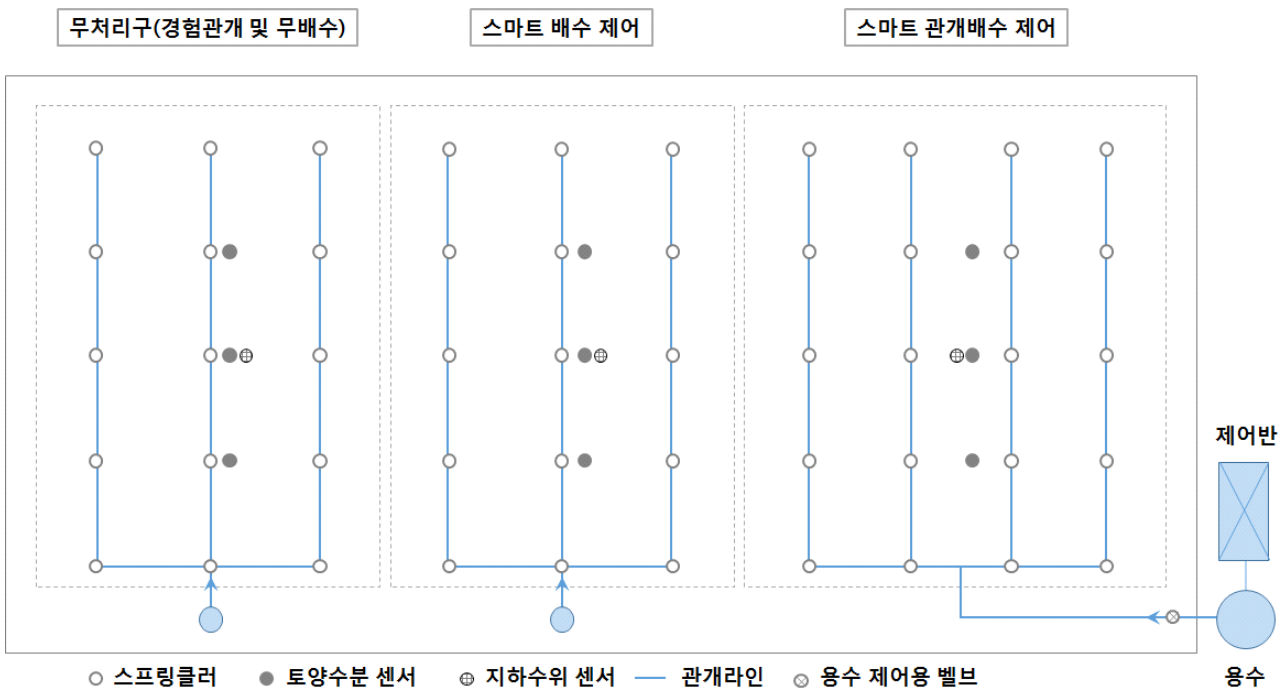


그림 2.2.10 스마트 토양수분제어 테스트베드 대조구별 센서 계획

심도 및 간격의 설계가 필요한 지하배수시스템과 달리 스프링클러 관개에 대해서는 별도

의 용량 및 간격 등의 설계를 수행하지 않고 테스트베드의 원 관개시스템을 활용하도록 하였다. 이는 향후 시스템의 활용에서도 현재 사용 중인 농업인의 시스템을 그대로 활용할 수 있기 때문이다.

2.3 테스트베드 지하배수시스템 설계

가. 지하배수 암거의 심도 결정

지하배수 암거의 심도를 결정하기 위해서 「농업생산기반정비사업계획설계기준-배수편」(이하 배수편)을 검토하였다. 배수편에서는 다음과 같이 암거의 매설깊이를 제시하고 있다.

흡수거의 매설깊이는 『지표면에서 계획지하수위까지의 깊이 + 여유심』으로 하며, 일반적으로 흡수거의 상류단에서 0.6m ~1.0m, 하류단에서 0.8m ~ 1.2m로 한다. 다만, 주흡수거의 상단부 매설깊이를 최소한 0.6m 이상으로 해야 한다.

흡수거의 간격은 지형, 토양조건 및 토지이용형태 등에 따라서 결정한다.

본 연구의 테스트베드에서는 지하배수 암거의 심도를 상단부에서 0.7m로 결정하고 하단부에서 0.8m로 결정하였다.

나. 지하배수 암거의 간격 설계

(1) 지하배수 암거 간격 설계의 개요

지하배수 암거의 매설깊이가 목표 지하수위 및 작업의 효율성 등에 의해 결정되는 것과 달리 암거의 매설간격을 결정하기 위해서는 비교적 많은 설계인자를 이용한 계산이 필요하다. 지하수위 조절을 위한 암거의 매설간격을 계산하기 위한 방법은 크게 정류(Steady-state method) 방정식과 부정류(Transient method) 방정식으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 부정류 방정식 중에서 van Schilfgaard(1963)이 제시한 식을 사용하였다. van Schilfgaard은 지하수위를 낮추기 위한 Boussinesq equation의 해로 다음의 식을 제시하였다.

$$S = \left[\frac{9Ktd_e}{f \log_e \left(\frac{b_0 [2d_e + b]}{b [2d_e + b_0]} \right)} \right] \quad (2.2.1)$$

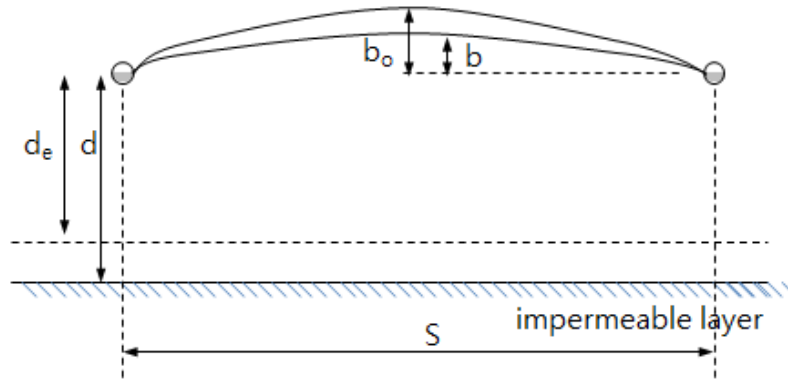


그림 2.2.11 부정류방정식을 이용한 설계의 설계변수

위 식의 설계인자는 다음과 같다.

- K : 투수계수(m/day)
- t : 목표지하수위까지의 낮추기 위한 시간(day)
- d_e : 불투수층까지의 유효깊이(m)
- f : 유효간극률(drainable porosity)

위 그림에서 b , b_0 는 토층의 두께와 흡수거의 매설깊이에 따라 결정한다. 위 식을 이용하기 위한 절차는 다음과 같다.

- 1) 처음의 입력값을 이용하여 흡수거의 간격(S)를 구한다.
- 2) 다음의 식을 이용하여 d_e 를 다시 계산한다.

$$x = \frac{2\pi d}{S} \quad (2.2.2)$$

$$F(x) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \log_e [\coth(nx)], \quad (x < 0.5 \text{ 이면, } F(x) = \frac{\pi^2}{4x} + \log_e \left(\frac{x}{2\pi} \right) \text{ 사용}) \quad (2.2.3)$$

$$d_e = \frac{\pi S}{8 \left[\log_e \left(\frac{S}{\pi r_e} \right) + F(x) \right]} \quad (2.2.4)$$

- 여기에서 r_e 는 흡수거의 유효반경

- 3) 2)에서 계산된 d_e 와 처음의 입력값을 비교한다.
- 4) 2)에서 계산된 d_e 로 S 를 구하는 과정을 반복하여 d_e 가 같아질 때 계산된 S 가 흡수거의 설치간격이 된다.

여기에서 중요한 것은 목표하는 지하수위와 지하수위에 도달하기 위한 시간이다. 결국 강우 후 목표하는 시간에 목표하는 지하수위까지 도달하기 위한 암거의 간격을 설정하는 것이다. 이에 대하여 배수편에서는 다음과 같이 지하수위와 저하일수를 제시하고 있다.

○ 계획 지하수위 및 지하수위 저하속도

경지정리 목표의 기본적인 지표가 되는 계획지하수위 및 그 저하속도는 지구의 토지이용형태, 도입작물의 종류 등을 고려하여 결정하여야 한다.

표 2.2.9 토지이용 구분에 따른 지하수위 및 저하일수(배수편)

| 토 지 이 용 구 분 | 강우후 2~3일의 지하수위 | 평상시지하수위(강우후 7일 이내) |
|-------------|----------------|--------------------|
| 벼 1 모 작 | 지표면하 30~40cm | 지표면하 40~50cm |
| ┌ 목 초 | ↙ 40~50cm | ↙ 50~60cm |
| └ 전 답 윤 환 | ↘ 50~60cm | ↘ 60~100cm |
| ┌ 일 반 전 작 물 | | |
| └ 영 년 생 작 물 | | |

본 연구에서는 전답윤환을 고려하여 강우후 2일 이내 지하수위를 지표면 아래 40cm까지 저하시키는 것을 목적으로 설계하였다. 다음으로는 설계에 사용된 설계변수를 정리하였다.

(2) 투수계수(K)

지하배수 암거의 간격 설계에서 가장 중요한 설계인자 중 하나이며, 실내 및 현장시험을 통하여 구할 수 있으나 본 연구에서는 현장에서 다음과 같이 Auger-Hole method로 구하였다.

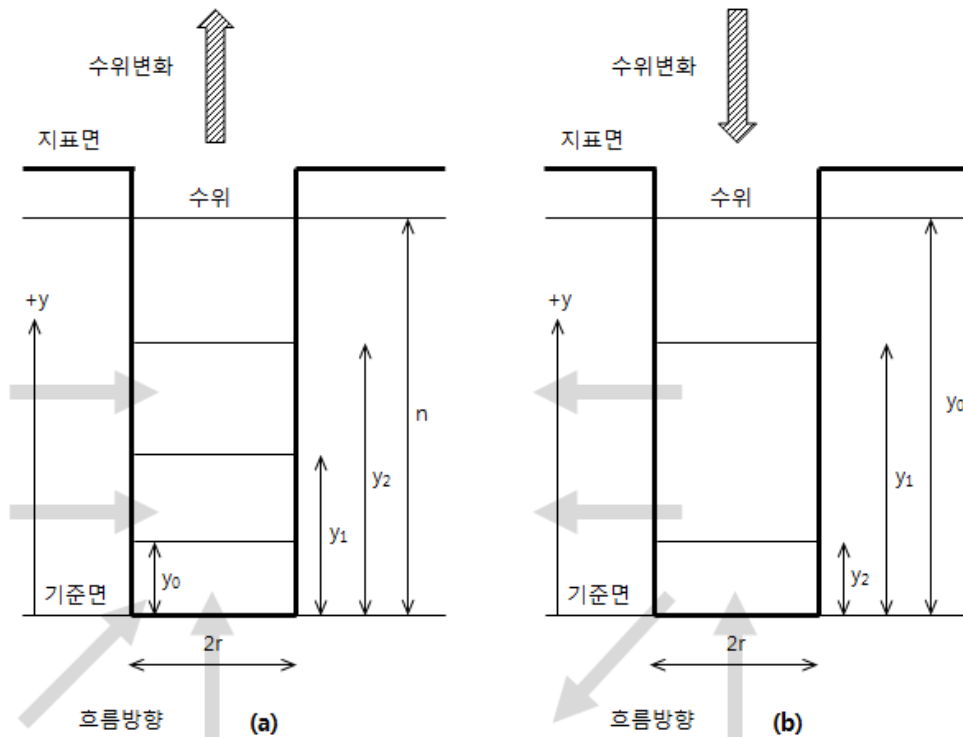


그림 2.2.12 현장에서의 오거홀 법에 의한 투수계수 측정방법

위 그림에서 (b)와 같이 흙 내의 수위를 저하시키는 방법으로 측정하였으며 이 경우 투수계수는 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$K(m/s) = \frac{r}{2} (t_2 - t_1)^{-1} \left[\ln \frac{y_1 + \frac{r}{2}}{y_2 + \frac{r}{2}} \right] \quad (2.2.5)$$

본 연구의 테스트베드에 대하여 현장에서 오거홀 법에 의한 투수시험을 수행하였고 투수계수는 1.02E-04 cm/s로 나타났다.



그림 2.2.13 테스트베드 투수계수 측정

(3) 유효간극률(f)

유효간극률은 부정류방정식으로 지하배수를 설계할 때 필요한 변수로 지하배수에 의해 토층에서 배수되는 수량으로 인해 저하되는 지하수위에 영향을 미치는 변수이다. 이에 대한 이해를 위해서는 다음의 그림과 같이 지하수위 저하에 따른 토층에서의 수량 및 공기량의 변화에 대하여 이해하여야 한다. 지하수위 상부의 토층은 일정량의 물과 공기를 함유하고 있으며 심도에 따라 위의 그림에서와 같은 분포를 형성하고 있으며, 지하배수에 의해 지하수위가 감소하면 그림과 같이 분포가 변하게 된다. 따라서 지하수위의 변화와 토층에서 배수되는 수량의 관계는 흙의 종류와 흙의 특성에 영향을 받는 변수이다. 하지만 유효간극률을 결정하는 시험법에 대해서는 명확하게 제시된 바가 없는 것으로 알려져 있다. 따라서 일반적으로 제시되는 값을 사용할 수 있고, 투수계수에 따른 값을 사용할 수 있다. 유효간극률 10%는 지하수위를 10cm 낮추면 토층에서 1cm의 물이 배수된다는 것을 의미한다. 일반적으로 사용할 수 있는 토양특성에 따른 유효간극률의 범위는 다음 표와 같다.

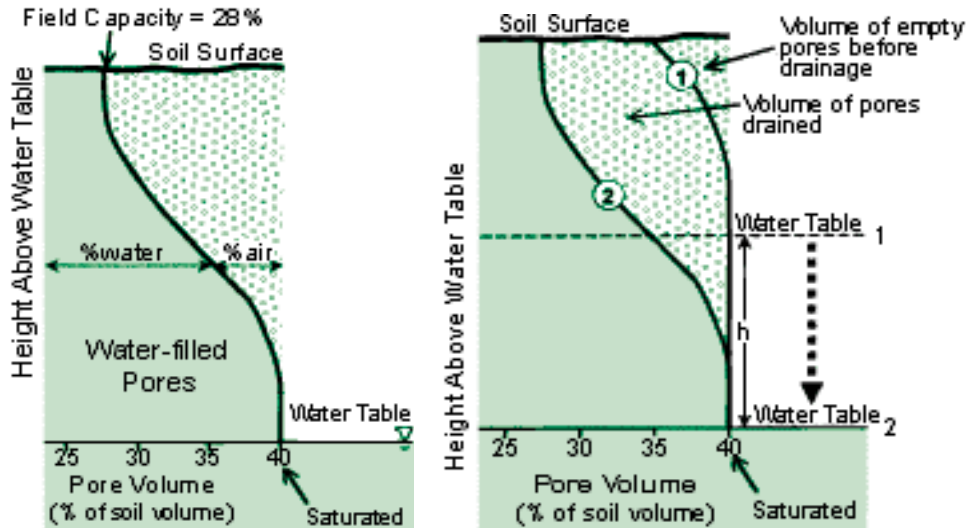


그림 2.2.14 지하수위 저하에 따른 유효간극률의 이해

유효간극률의 정의에 따르면 토양의 투수계수에 영향을 받는 변수임을 알 수 있다. 다음의 그림은 Chossat and Saugnac(1985)이 제시한 투수계수와 유효간극률의 관계를 나타낸다. 점토로 판단할 수 없는 경우에는 상기한 표에서와 같이 0.02(20%)내외의 값을 사용해도 무방하다. 범용화설계의 경우 현재 논으로 사용되는 농지에 대한 설계이므로 대부분 점토함량이 많으므로 다음 그림의 관계를 사용해도 무방하다.

$$\text{-점토: } f = 0.025 + 0.006 \times K(\text{m/day}) \quad (2.2.6)$$

$$\text{-점토함량} < 15\%: f = 0.0153 + 0.0176 \sqrt{K(\text{m/day})} \quad (2.2.7)$$

$$\text{-}15\% < \text{점토함량} < 30\%: f = \exp(-3.411 + 0.289 \ln(K(\text{m/day}))) \quad (2.2.8)$$

상기한 식에서 점토는 미국 농무성 기준으로 입경이 0.002mm이하인 것을 의미하며 흙의 입도를 구하면 알 수 있다.

표 2.2.10 토양특성에 따른 유효간극률

| Texture | Structure | Drainable porosity(%) |
|--|--|-----------------------|
| Clay Heavy clay loam | Massive, very fine or fine columnar | 1-2 |
| Clay, Clay loam Silty clay, Sandy clay loam | Very fine or fine prismatic angular blocky or platy | 1-3 |
| Clay, Silty clay Sandy clay, Silty clay loam Clay loam, Silty loam Silt | Fine and medium prismatic, angular blocky and platy | 3-8 |
| Sandy clay loam Light clay loam, Silt Silty loam Very fine sandy loam, Loam | Medium prismatic and sub- angular blocky | 6-12 |
| Fine sandy loam Sandy loam | Coarse sub-angular blocky and granular, fine crumb | 12-18 |
| Loamy sand, Fine sand | Medium crumb, single grain | 15-22 |
| Medium sand | Single grain | 22-26 |
| Coarse sand gravel | Single grain | 26-35 |

*Tile drainage manual(Pakistan Council of Research in Water Resources, 2004)에서 재 인용

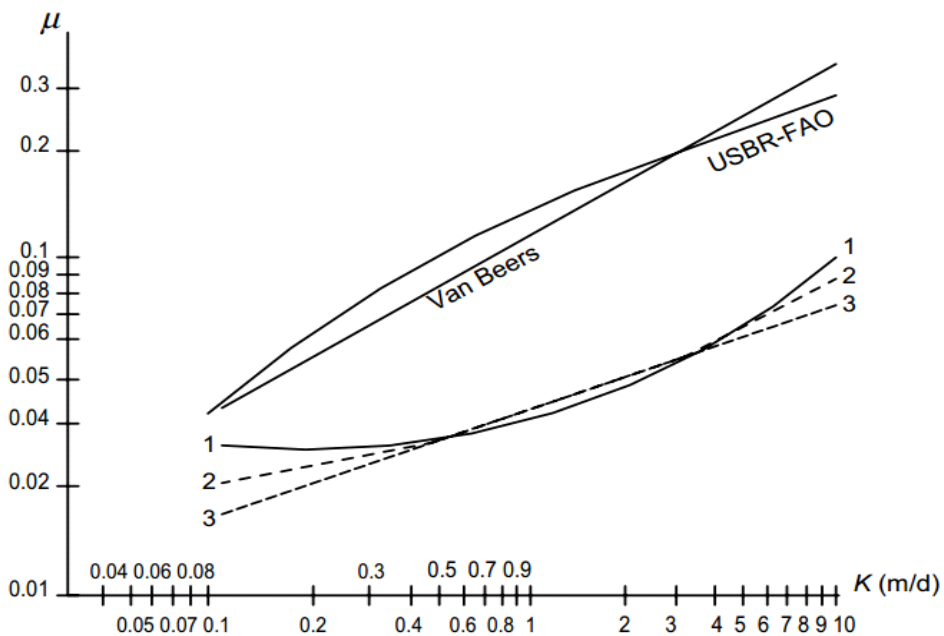


그림 2.2.15 투수계수와 유효간극률의 관계 1. 점토 2. 점토함량<15% 3. 15%<점토함량<30% (Chossat and Saugnac, 1985)

다음은 테스트베드의 각 위치에서 채취한 흙의 모래, 실트 점토함량을 나타낸다.

표 2.2.11 테스트베드 토양의 입도

| | 대조구 1 | | | 대조구 2 | | | 대조구 3 | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 심도 | 3-10 | 3-30 | 3-50 | 2-10 | 2-30 | 2-50 | 1-10 | 1-30 | 1-50 |
| Sand | 69.9% | 56.3% | 66.6% | 70.5% | 58.9% | 68.9% | 71.6% | 60.8% | 71.8% |
| Silt | 23.2% | 32.8% | 25.7% | 22.4% | 29.9% | 22.5% | 21.7% | 29.0% | 21.8% |
| Clay | 6.9% | 10.9% | 7.7% | 7.1% | 11.2% | 8.6% | 6.7% | 10.2% | 6.4% |

테스트베드 토양의 점토 함량은 15% 이하인 것으로 판단하여 식(4.7)에 현장에서 구한 투수계수를 이용하면 테스트베드의 유효간극률을 0.020이다.

(4) 흡수거의 유효반경(r_e)

지하암거(흡수거)의 유효반경은 주요 제품에 따라 다음과 같이 주어진다.

표 2.2.12 흡수거의 유효반경

| 종류 | 외경(mm) | r_e (mm) |
|-----------------------|--------|------------|
| 플라스틱 주름관 | 89 | 3.5 |
| 플라스틱 주름관 | 114 | 5.1 |
| 필터를 감싼 플라스틱 주름관 | 114 | 40.0 |
| 플라스틱 주름관 | 140 | 10.3 |
| 플라스틱 주름관 | 165 | 14.7 |
| 자갈 소수재를 포설한 플라스틱 주름관* | 2a | 1.175a |

* 포설한 소수재의 단면이 정사각형이라고 할 때 한변의 길이가 2a

본 연구의 테스트베드에서와 같이 암거의 시공시에 소수재를 사용하였다면 소수재 단면이 2a인 경우 r_e 로 1.175a를 적용하면 된다. 본 연구의 테스트베드에서는 소수재 포설 단면이 40cm×40cm로 보면 r_e 는 1.175×200mm=235mm 이다.

(5) 지하배수 암거 간격 설계 결과

van Schilfgaard의 식을 이용하고 앞서 구한 설계변수를 이용하여 암거의 간격을 설계하였다. 식에 사용된 설계변수를 요약하면 다음과 같다.

- K (투수계수) : 1.02E-04 cm/s
- f (유효간극률) : 0.020
- r_e (흡수거의 유효반경) : 0.235m
- t (목표지하수위까지의 낮추기 위한 시간) : 2day
- d_e (불투수층까지의 유효깊이) : 2m
- b_o (초기 지하수위) : 0.7m
- b (t 시간 경과 후 지하수위) : 0.3m

목표지하수위까지 낮추기 위한 시간과 초기 지하수위 및 시간 경과 후 지하수위는 계획지하수위와 경과일수를 적용하였다.

설계에 의하면 암거의 간격은 12.3m로 설계되었으나 테스트베드에서는 물성의 변동성과 효과의 검증을 위하여 10.0m로 설계값을 결정하였다.

다. 지하배수 암거의 관경 및 기울기

(1) 암거의 기울기

암거의 관경은 흡수거의 간격설계에서 저하된 지하수위에 의한 배수량을 원활하게 배수할 수 있는 흡수거의 용량을 결정하는 것이다. 이를 위해서는 먼저 암거의 기울기를 결정해야 한다. 암거 기울기에 대하여 배수편에서는 다음과 같이 제시하고 있다.

흡수거의 기울기는 평탄지에서 인력매설시는 1/300 ~ 1/600, 기계매설시는 1/500 ~ 1/1,000로 하면 적당하다. 그런데 침하로 균일한 기울기의 유지가 곤란하므로 가급적 기울기가 급한 쪽이 바람직하다. 관내유속은 최대유속시에 0.3m/s 이상 ~ 1.0m/s 범위에 있는 것이 바람직하다.

본 연구의 테스트베드에서는 1/600의 기울기를 적용하였다.

(2) 암거의 관경

암거의 관경에 대해서 배수편에서는 다음과 같이 제시하고 있다.

흡수거의 관경은 계획배수량이 만류가 되지 않고 충분히 유하 할 수 있는 크기로 한다. 그러나 특별한 경우를 제외하고 최소관경은 50mm(A=19.6cm²)로 하며 경지정리답의 배미구 장변(100m인 경우)에 맞추어 흡수거 길이를 95m, 흡수거 관경을 50mm로 하면 충분하다.

암거의 관경을 결정하기 위해서는 먼저 암거 내로 유입되어 배수되는 계획배수량을 결정해야 한다. 정류방정식을 사용하거나 [배수편]의 “단위계획배수량”을 이용한 기타 설계기법으로 설계된 경우 암거 내로 유입되는 암거배수량은 단위계획배수량과 집수면적(흡수거의 길이×흡수거의 간격)의 곱으로 구할 수 있으나, 부정류 방정식으로 설계되는 경우 암거의 계획배수량은 다음과 같다.

$$\text{계획암거배수량} = (\text{지하수위 저하량} \times \text{유효간극률}) \times \text{집수면적} \quad (2.2.9)$$

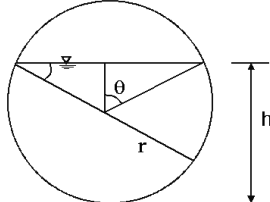
암거 내의 유량은 앞서 결정된 관의 기울기와 다음의 표와 같은 조도계수 및 관내 유량에 따른 계수를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{8/3} \times I^{1/2} \times \alpha \quad (2.2.10)$$

여기에서 n 은 흡수거의 조도계수, r 은 반경, I 는 기울기, α 는 관내 유량에 따른 계수이다. 따라서 관경은 다음 식 이상의 값을 가지면 충분하다.

$$D = \left(\frac{nQ}{\alpha I^{0.5}} \right) \times 2 \quad (2.2.11)$$

표 2.2.13 흡수거의 유량 계산

| $h/2r$ | α | β | 비 고 |
|--------|----------|---------|---|
| 0.50 | 0.9895 | 0.62996 | Q = 유량(m^3/s) r = 관의 반경(m) n = 조도계수 I = 기울기 V = 유속(m/s)  |
| 0.55 | 1.15917 | 0.65473 | |
| 0.60 | 1.32962 | 0.67558 | |
| 0.65 | 1.49699 | 0.69251 | |
| 0.70 | 1.65696 | 0.70541 | |
| 0.75 | 1.80486 | 0.71404 | |
| 0.80 | 1.93448 | 0.71799 | |
| 0.85 | 2.03932 | 0.71653 | |
| 0.90 | 2.10929 | 0.70827 | |
| 0.95 | 2.12655 | 0.68980 | |
| 1.00 | 1.97907 | 0.62996 | |

암거의 관내에서 토사의 침전, 물양금의 부착 등으로 관의 단면이 축소되는 것을 고려해서 계획유량을 관경의 70% 정도의 수심으로 유지할 수 있도록 결정하는 것이 바람직하다($\alpha=1.66$). 관경 50mm 이하의 흡수거는 특수한 경우를 제외하고 사용하지 않는다. 계산에 사용되는 조도계수는 다음의 표를 참조한다.

표 2.2.14 흡수거의 조도계수

| 관의 종류 | 조도계수 n | 비 고 |
|---------------|----------|--|
| 흡 관 | 0.013 | \lrcorner \vdash 연결상태가 불량하면 n 치 증가 \lrcorner |
| 도 관 | 0.014 | |
| 소 소 토 관 | 0.013 | |
| 경 질 염 화 비 닐 관 | 0.012 | |
| PVC 유 공 주 림 관 | 0.016 | |

(3) 암거의 기울기 및 관경 검토 결과

테스트베드에서의 계획암거배수량은 지하수위 저하량과 유효간격을 및 각 암거의 집수면적으로 구할 수 있으며 테스트베드에서는 $Q=5.18E-05(m^3/s)$ 로 나타났다. 이를 이용하여 기울기 1/600과 관경 2.9cm로 나타났다. 본 테스트베드에서는 기성 제품으로 10 cm 유공관을 계획하였으므로 관경은 만족되는 것으로 나타났다.

3. 테스트베드 관개시스템 구축

3.1 스프링클러

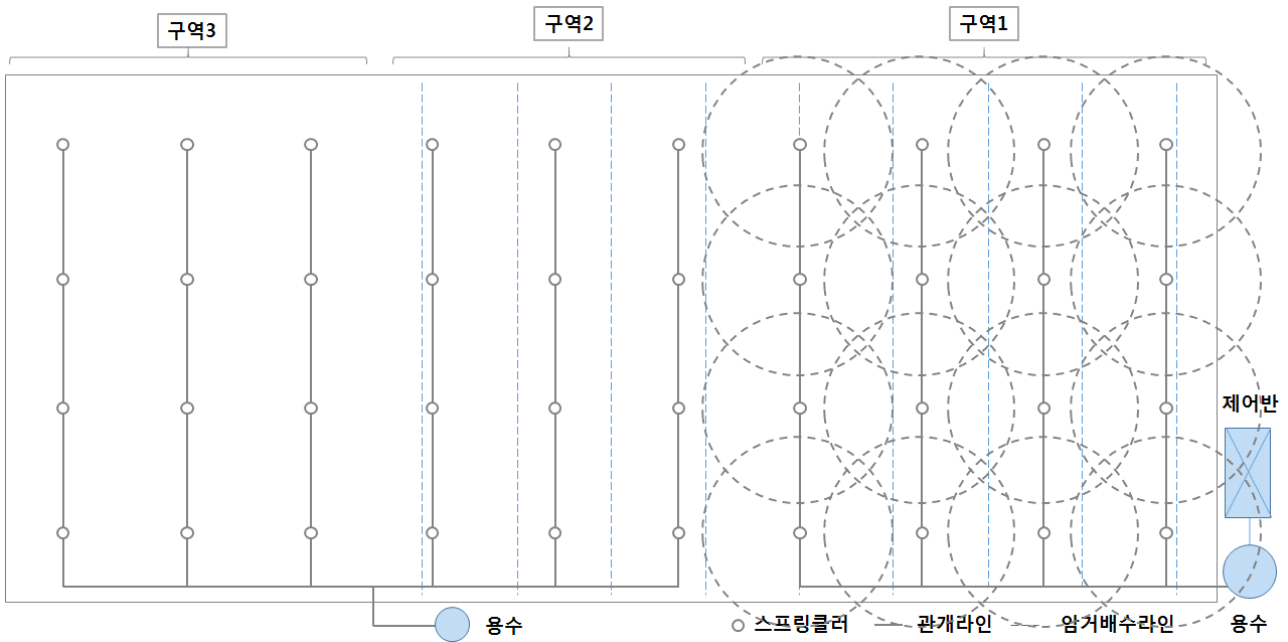


그림 2.2.16 관개용 스프링클러 평면설계

스프링클러는 테스트베드 내에 기존에 사용 중인 장치를 활용하였으며 테스트 결과 테스트베드 내 전 구역에 골고루 용수를 공급할 수 있도록 사용 중인 것으로 나타났다.

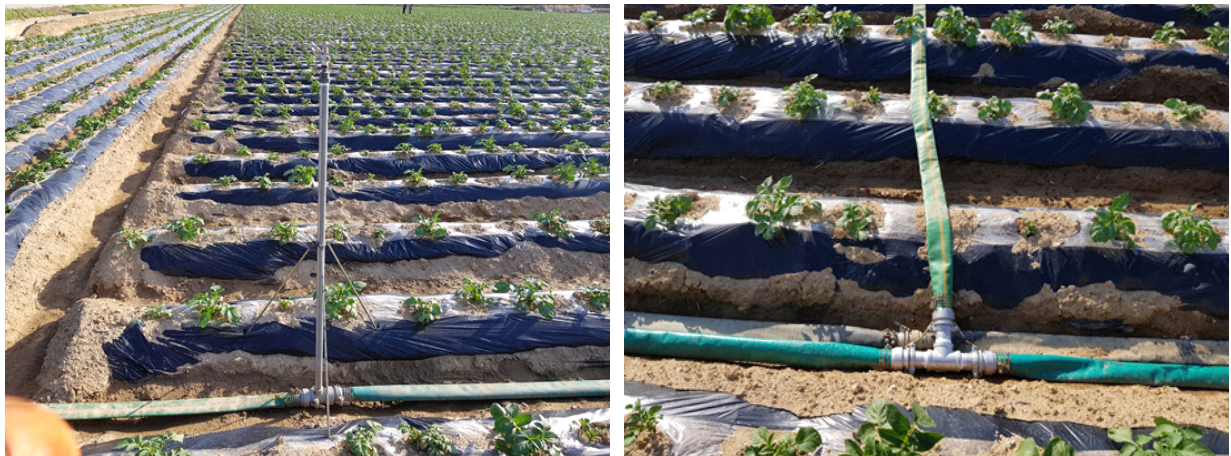


그림 2.2.17 스프링클러 용수관 연결 및 스프링클러 설치

3.2 관개용수

관개용수는 대조구 별로 별도로 활용할 수 있도록 하였다. 경험적인 관개를 실시하는 구역2와 구역3의 경우는 테스트베드 인근의 용수로 내의 용수를 활용하고, 스마트관개 배수를

실시할 계획인 구역1의 경우는 안정적인 관개용수 공급을 위하여 저장탱크를 설치하여 사용하도록 하였다.



그림 2.2.18 프링클러 관개용 용수로(구역2 및 구역3) 및 저장탱크(구역1)

3.3 관개용 펌프 및 제어반

관개용 펌프는 용수저장탱크에 용수를 채우기 위한 펌프와 스프링클러에 용수를 공급하기 위한 펌프 2대를 설치하였다.



그림 2.2.19 프링클러 관개용 펌프

테스트베드 내의 제어반은 관개 및 배수의 전반적인 상태를 점검하고 시스템을 on/off할 수 있으며 관개 및 배수의 작동 시나리오를 설정할 수 있도록 구축하였으며 관개용 용수 저장탱크 인근에 설치하였다.



그림 2.2.20 프링클러 관개 및 배수제어용 제어반

관개시스템을 스프링클러 및 제어반 등 전체 시스템 설치 후 작동여부를 확인하고 설치를 완료하였다.



그림 2.2.21 시스템 전기 설치 및 작동확인

4. 테스트베드 지하배수시스템 구축

4.1 지하배수 암거

가. 지하배수 암거 개요

대조구 2와 대조구 3의 암거는 $\phi 100\text{mm}$ 의 유공관을 설치하였다. 유공관은 시점에서 70cm, 종점에서 80cm심도로 매설하여 1/600의 경사를 유지하도록 하였으며, 여과재로 부직포 필터, 소수재로 $\phi 20\text{mm}$ 골재층을 그림과 같이 시공하였으며 지하배수 암거의 평면 설계 내용은 다음과 같다.

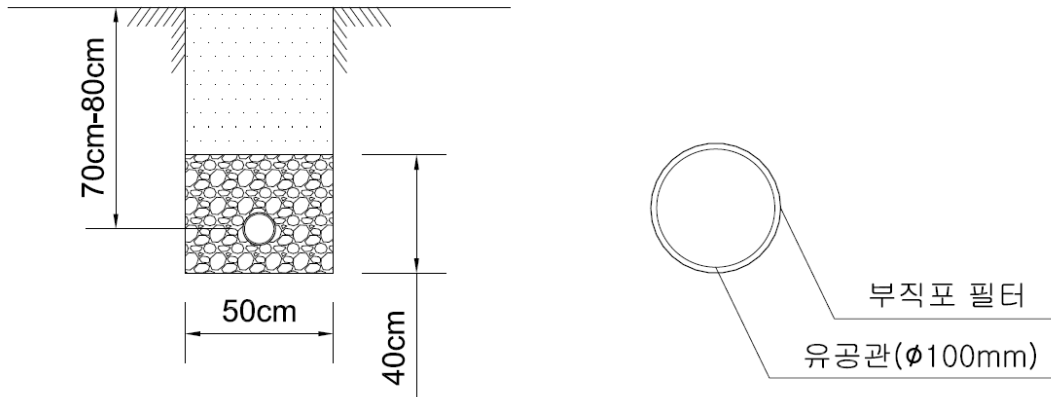


그림 2.2.22 지하배수 암거 단면도

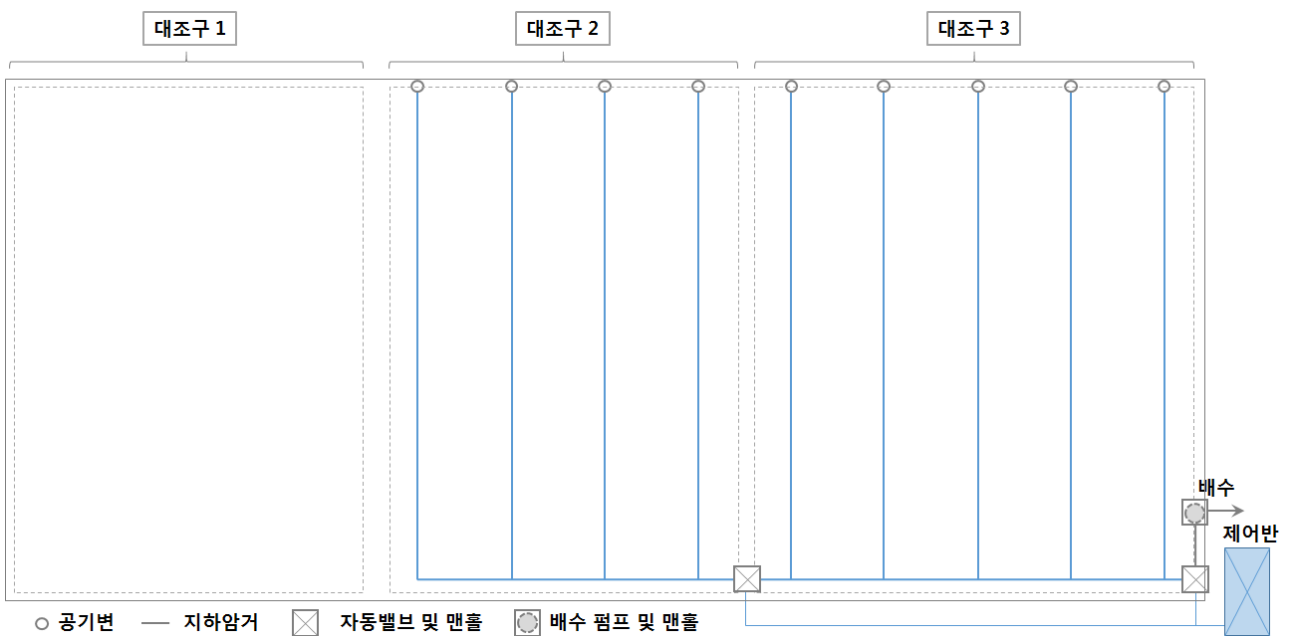


그림 2.2.23 지하배수 암거 평면설계

나. 지하배수 암거 설치

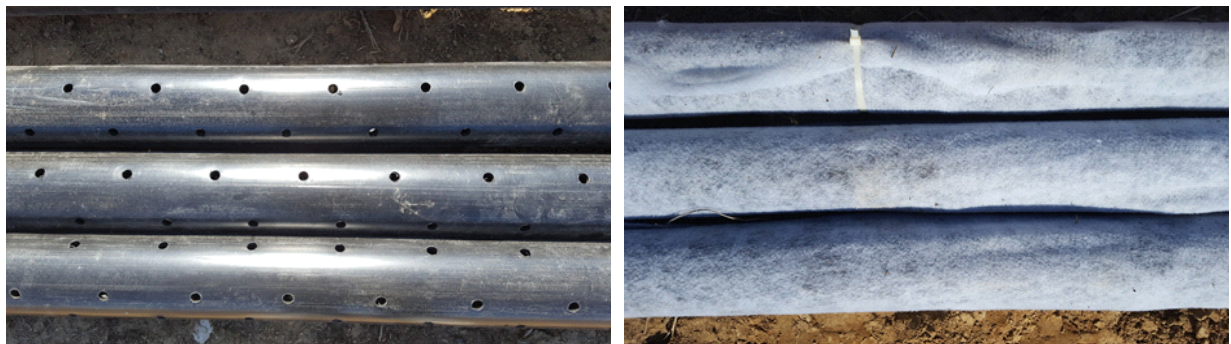


그림 2.2.24 φ100mm 유공관 및 필터

지하배수 암거의 주요 자재인 유공관은 그림에서 보는 바와 같이 필터로 감싸서 토사의 유입을 차단할 수 있도록 준비하였고 터파기, 골재 투입, 암거 거치, 골재 채움, 되메우기 순으로 작업을 진행하였다. 암거의 기울기를 각 작업 중에 실시하여 설계 기울기를 확인하면서 작업을 진행하였다.



그림 2.2.25 자재 거치 주암거 터파기



그림 2.2.26 집수거 터파기 및 레벨확인



그림 2.2.27 유공관 거치 과정

터파기 후 바닥에 골재 포설 후 유공관을 거치하고 설계 기울기 확인 후 골재로 유공관을 설계 두께로 포설하였다. 주 배수암거 설치 후 암거의 상단부에는 암거 내의 원활한 배수와 향후 유지관리를 위하여 공기변을 설치하였고 하단부는 집수거와 연결하여 최종적으로 배수 맨홀로 유입될 수 있도록 하였다. 주암거의 공기변 및 집수거와의 연결 후에 되메우기를 하여 주암거의 설치를 완료하였다.



그림 2.2.28 암거 상단부 공기변 및 하단부 집수거 연결



그림 2.2.29 주암거 설치 후 되메우기

4.2 지하배수 조절밸브 및 집수 맨홀

대조구 별 암거배수를 조절하기 위한 밸브는 지중에 맨홀을 설치하고 맨홀 내부에 설치하였다.



그림 2.2.30 지하수위 조절밸브 설치 및 암거 연결

테스트베드의 배수 말단부에는 조절밸브와 집수된 물을 포장 외부로 배출할 수 있도록 2개의 맨홀을 설치하였다.



그림 2.2.31 테스트베드 말단부 배수조절 밸브 및 집수맨홀



그림 2.2.32 테스트베드 말단부 sump

4.3 지하수위 모니터링 장치

지하배수 암거에 의한 지하수위 조절의 효과를 모니터링하기 위하여 각 대조구의 중앙부에 지하수위 관측공을 설치하였다. 관측공은 다음 그림과 같이 일정 심도까지 관입한 후 상부에는 PVC관을 연결하여 설치하였다.




그림 2.2.33 지하수위 관측공 설치



그림 2.2.34 지하수위계 설치 및 확인

지하수위계는 압력식 수위자동기록기(Water Level Recorder)를 이용하였다. 직경 22mm, 길이 90mm의 센서로 수위 및 수온을 자동으로 기록할 수 있다.

표 2.2.15 압력식 수위자동기록기 재원

| 형상 | 재원 | |
|--|------|-------------|
|  | 측정범위 | 10m |
| | 메모리 | 측정치 24,000개 |
| | 정밀도 | 0.05FS이하 |
| | 분해능 | 0.2cm |
| | 재질 | 스테인레스 |
| | 전원 | 리튬전지(8년) |

5. 테스트베드 토양수분제어 시스템 설치

5.1 토양수분 센서

본 연구에서는 계획한 각 위치에 토양수분센서와 통신모듈이 위치하고 각 토양수분센서의 값을 수신하기 위한 통신케이블 및 제어반으로 구성하였다. 토양수분 센서의 데이터획득은 최종적으로 무선통신으로 개발할 계획이지만 2차년도 연구의 주된 부분은 제어시스템의 구축이므로 유선방식으로 테스트베드를 구축하였다.



그림 2.2.35 토양수분 센서 및 제어시스템 개요

본 연구에서 선정한 토양수분 센서를 요약하면 다음과 같다.

표 2.2.16 토양수분 센서 개요

| 조건 | 개요 |
|---|----|
| <p>① 조건</p> <p>10cm 간격마다 토양 수분+온도를 측정할 수 있어야 한다.</p> <p>밀폐된 타입으로 침수 및 결로 피해 방지할 수 있어야 한다.</p> <p>설치가 쉬워야 한다.</p> <p>검증된 품질의 토양수분 센서여야 한다.</p> <p>② 사양</p> <p>센서길이 : 60cm이상</p> <p>센서 수 : 4개 이상(10, 20, 30, 40cm)</p> <p>측정범위 : VWC(0~60%), 온도(-20~50℃)</p> <p>정밀도 : $\pm 2\%$(@<30%), $\pm 3\%$(@>30%) $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$(@ -10 ~ 40℃)</p> <p>전원 : 9~12V</p> <p>출력신호 : RS232C, SDI-12</p> <p>보호등급 : IP68</p> | |

토양수분 센서는 설계에 의해 정한 위치에 오거를 이용한 천공 후 센서를 삽입하고 센서 주변 밀도를 원상태로 다진 후 초기값을 확인하는 순서로 진행하였다.



그림 2.2.36 토양수분 센서 천공 및 삽입



그림 2.2.37 토양수분 센서 삽입 후 밀도 정리 및 초기값 확인

각 토양수분센서에는 통신을 위한 통신모듈이 부착하여 설치를 완료하였고, 각 구역의 3개 토양수분센서와 제어반을 연결하는 통신 모듈 및 통신케이블을 연결하여 테스트베드에 대한 전체 토양수분센서 설치를 완료하였다.



그림 2.2.38 토양수분 개별 센서 통신모듈 및 설치완료



그림 2.2.39 제어반 연결용 케이블 매설 및 연결

5.2 토양수분 데이터 로거 및 시스템 제어반

최종적으로 데이터 수신 장치와 관개 및 배수제어 시스템을 포함한 제어반을 설치하고 테스트베드 구축을 완료하였다.

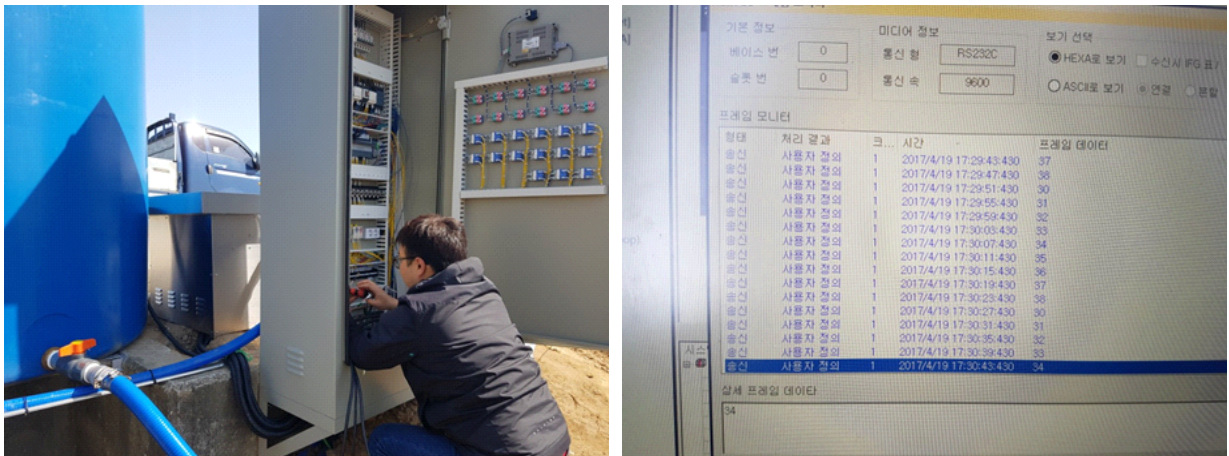


그림 2.2.40 제어반 설치 및 작동확인

제3절 스마트 토양수분 제어기술 개발

1. 토양수분 개요

작물의 생육은 크게 성장(growth)과 발육(development)으로 구분한다. 생장은 작물의 건물중량의 증가를 의미하고, 발육이란 아생, 화성, 개화, 성숙 등의 과정을 거치면서 단순한 양적 증가뿐만 아니라, 체내의 질적인 변화에 따른 재조정 작용이 생기는 것을 말한다. 작물이 생육하는 데는 토양, 수분, 공기, 광에너지 및 양분이 필요하다. 물론 수경재배와 기타 특수한 경우에는 토양이 필요하지 않을 수도 있지만 작물이 가장 잘 자라고 수확물의 양과 질을 확보하기 위해서는 위의 환경요소를 작물의 생육에 최적의 상태로 유지해 주어야 한다. 즉, 토양의 구조, 토양수분, 토양공기, 복사량 및 영양분 등을 각 작물에 따라 최적의 상태로 유지시켜야 한다. 이 중 본 연구에서 노지의 범용농지에 적용하고자 하는 제어기술의 대상인 토양수분은 작물 생육에서 1) 원형질의 생활상태를 유지하고, 2) 식물체 구성물질의 성분, 3) 필요한 물질 흡수의 용매역할, 4) 식물체 내의 물질분포를 고르게 하는 매개체 역할, 5) 필요한 물질의 합성과 분해에 매개체 역할, 6) 세포의 긴장상태를 유지하여 식물의 체제 유지를 가능하게 하는 역할을 수행한다.

토양수분은 토양입자에 대하여 3가지 형태로 존재하며 이는 각 수분이 토양입자와 맺는 장력관계(pF, potential force)에 따라 나뉘게 된다. pF는 $\log_{10}(\text{cmH}_2\text{O})$ 로 장력을 수주(cm)의 대수값으로 표시한 것이다. 흡착수는 토양입자의 표면에 강한 인력으로 붙어 있는 토양 내의 수분을 말하며 토양입자의 표면에 박막상으로 강하게 흡착되어 있는 수분을 말한다. pF는 약 4.5-7.0의 범위를 갖는다. 모관수는 작물이 주로 사용하는 형태로 토양공극에서 모세관 현상으로 부유되는 수분으로 pF 2.5-4.5의 범위에 분포하는 토양수분을 말한다. 중력수는 다량의 강수량 등으로 오히려 토양이 포장용수량 이상으로 포화되었을 때 포장용수량 이상으로 토양이 최대 함유할 수 있는 수분량이다.

작물이 뿌리로부터 흡수한 물과 양분은 공기 중에서 잎을 통하여 흡수된 이산화탄소와 결합하고, 탄수화물을 생성하는 한편 끊임없이 잎과 줄기를 통해 증산작용을 한다. 또 물은 토양 속의 비료분을 용해시켜서 흙을 부드럽게 만드는 작용을 하므로, 토양을 비옥하게 만들고 염분과 같은 유해물질을 용해시키며, 뿌리의 성장을 촉진하여 작물생장을 촉진시킨다. 논인 경우에는 담수재배를 하므로 대부분의 경우 지표면이 담수상태로 유지되기 때문에 작물 근근역의 토양수분은 포화상태로 볼 수 있다. 그러나 밭의 경우에는 지표면 담수를 허용하지 않기 때문에 논에서와는 아주 다르다. 밭의 경우, 세 가지 토양수분 형태 중 모관수는 작물이 이용할 수 있는 물이며, 이를 유효수분(AM, available moisture)이라고 한다. 이들의 구분은 포장용수량(FC, field capacity)과 영구 위조점(PWP, permanent wilting point)이 경계가 되며 이들의 관계는 다음과 같다.

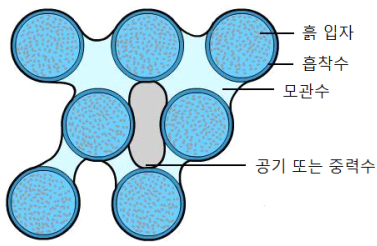


그림 2.3.1 토양수분의 형태

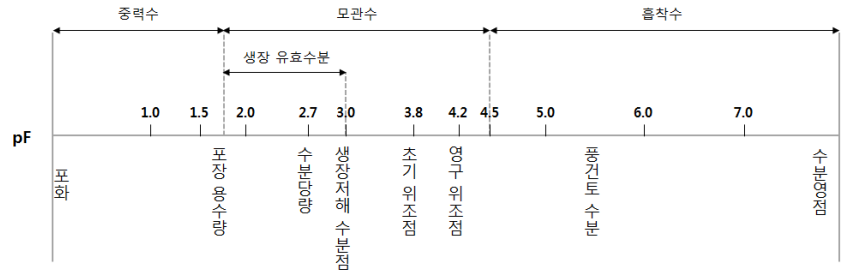


그림 2.3.2 토양수분의 분류 및 작물 이용성

포장용수량이란 포장에 충분한 물을 공급한 후, 24시간 정도 경과하여 중력수가 유하하고 난 뒤의 토양 함수량을 말하며, 영구 위조점이란 작물이 시들어 죽게 되는 시점의 토양 함수량을 말한다. 초기 위조점은 작물이 시들기 시작하는 토양 함수량으로 물을 공급하면 작물이 되살아나며, 성장저해 수분점은 토양수분의 부족으로 작물이 충분한 성장활동을 못하게 되는 토양 함수량을 말한다.

2. 최적 토양수분 범위

2.1 입도에 따른 토양함수특성(Soil Water Characteristics)

본 연구에서는 토양함수특성을 구하기 위하여 흙의 특성을 이용한 방법을 적용하였다. Saxton 등(K.E. Saxton and W.J. Rawls¹⁾)은 주어진 장력에 대한 흙의 함수량을 흙의 특성(입도 및 유기물함량 등)을 이용한 예측식을 제안하였고 이를 구할 수 있는 툴을 제시하였다.

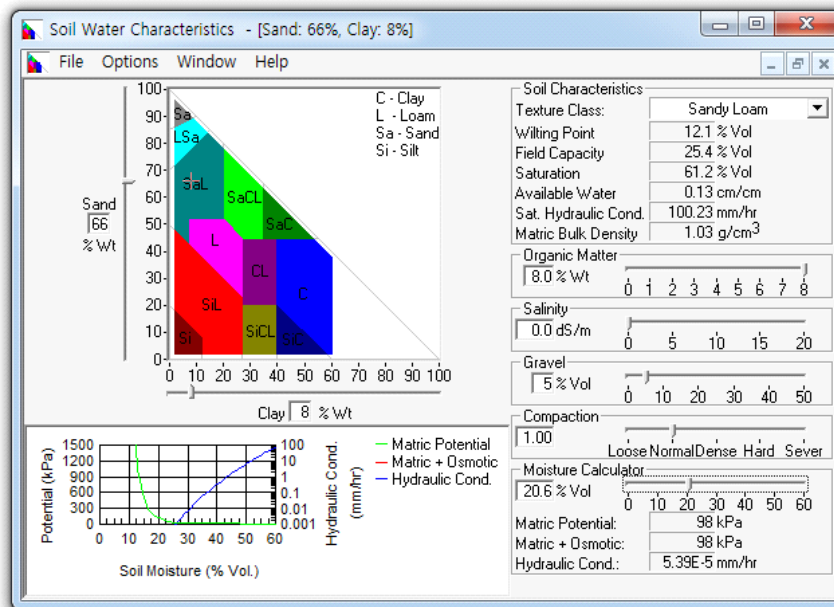


그림 2.3.3 토양함수특성 계산기

1) K.E. Saxton and W.J. Rawls, 2006, Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions, SOIL SCI. SOC. AM. J., VOL. 70

위의 계산기는 다음의 변수와 수식을 포함하며 실무적으로 적용성이 검증된 것으로 판단되며 본 연구에서 토양수분의 계산에 활용하였다.

| Symbol | Definition |
|---------------------|--|
| A, B | Coefficients of moisture-tension, Eq. [11] |
| C | Clay, %w |
| DF | Density adjustment Factor (0.9–1.3) |
| EC | Electrical conductance of a saturated soil extract, dS m^{-1} ($\text{dS/m} = \text{mili-mho cm}^{-1}$) |
| FC | Field Capacity moisture (33 kPa), %v |
| OM | Organic Matter, %w |
| PAW | Plant Avail. moisture (33–1500 kPa, matric soil), %v |
| PAW _B | Plant Avail. moisture (33–1500 kPa, bulk soil), %v |
| S | Sand, %w |
| SAT | Saturation moisture (0 kPa), %v |
| WP | Wilting point moisture (1500 kPa), %v |
| θ_ψ | Moisture at tension ψ , %v |
| θ_{1500t} | 1500 kPa moisture, first solution, %v |
| θ_{1500} | 1500 kPa moisture, %v |
| θ_{33t} | 33 kPa moisture, first solution, %v |
| θ_{33} | 33 kPa moisture, normal density, %v |
| θ_{33-DF} | 33 kPa moisture, adjusted density, %v |
| $\theta_{(S-33)t}$ | SAT-33 kPa moisture, first solution, %v |
| $\theta_{(S-33)}$ | SAT-33 kPa moisture, normal density %v |
| $\theta_{(S-33)DF}$ | SAT-33 kPa moisture, adjusted density, %v |
| θ_S | Saturated moisture (0 kPa), normal density, %v |
| θ_{S-DF} | Saturated moisture (0 kPa), adjusted density, %v |
| ψ_0 | Tension at moisture θ , kPa |
| ψ_{et} | Tension at air entry, first solution, kPa |
| ψ_e | Tension at air entry (bubbling pressure), kPa |
| K_S | Saturated conductivity (matric soil), mm h^{-1} |
| K_b | Saturated conductivity (bulk soil), mm h^{-1} |
| K_θ | Unsaturated conductivity at moisture θ , mm h^{-1} |
| ρ_N | Normal density, g cm^{-3} |
| ρ_B | Bulk soil density (matric plus gravel), g cm^{-3} |
| ρ_{DF} | Adjusted density, g cm^{-3} |
| λ | Slope of logarithmic tension-moisture curve |
| α | Matric soil density/gravel density (2.65) = $\rho/2.65$ |
| R_v | Volume fraction of gravel (decimal), g cm^{-3} |
| R_w | Weight fraction of gravel (decimal), g g^{-1} |
| Ψ_O | Osmotic potential at $\theta = \theta_S$, kPa |
| $\Psi_{O\theta}$ | Osmotic potential at $\theta < \theta_S$, kPa |

그림 2.3.4 함수특성 식 변수의 설명

| Variable | Equation | R^2/S_e | Eq. |
|------------------------------|--|-----------|-----|
| Moisture Regressions | | | |
| θ_{1500} | $\theta_{1500} = \theta_{1500t} + (0.14 \times \theta_{1500t} - 0.02)$ $\theta_{1500t} = -0.024S + 0.487C + 0.006OM$ $+ 0.005(S \times OM) - 0.013(C \times OM)$ $+ 0.068(S \times C) + 0.031$ | 0.86/0.02 | 1 |
| θ_{33} | $\theta_{33} = \theta_{33t} + [1.283(\theta_{33t})^2 - 0.374(\theta_{33t}) - 0.015]$ $\theta_{33t} = -0.251S + 0.195C + 0.011OM$ $+ 0.006(S \times OM) - 0.027(C \times OM)$ $+ 0.452(S \times C) + 0.299$ | 0.63/0.05 | 2 |
| $\theta_{(S-33)}$ | $\theta_{(S-33)} = \theta_{(S-33)t} + (0.636\theta_{(S-33)t} - 0.107)$ $\theta_{(S-33)t} = 0.278S + 0.034C + 0.022OM$ $- 0.018(S \times OM) - 0.027(C \times OM)$ $- 0.584(S \times C) + 0.078$ | 0.36/0.06 | 3 |
| ψ_e | $\psi_e = \psi_{et} + (0.02\psi_{et}^2 - 0.113\psi_{et} - 0.70)$ $\psi_{et} = -21.67S - 27.93C - 81.97\theta_{(S-33)}$ $+ 71.12(S \times \theta_{(S-33)}) + 8.29(C \times \theta_{(S-33)})$ $+ 14.05(S \times C) + 27.16$ | 0.78/2.9 | 4 |
| θ_S | $\theta_S = \theta_{33} + \theta_{(S-33)} - 0.097S + 0.043$ | 0.29/0.04 | 5 |
| ρ_N | $\rho_N = (1 - \theta_S)2.65$ | | 6 |
| Density Effects | | | |
| ρ_{DF} | $\rho_{DF} = \rho_N \times DF$ | | 7 |
| θ_{S-DF} | $\theta_{S-DF} = 1 - (\rho_{DF}/2.65)$ | | 8 |
| θ_{33-DF} | $\theta_{33-DF} = \theta_{33} - 0.2(\theta_S - \theta_{S-DF})$ | | 9 |
| $\theta_{(S-33)DF}$ | $\theta_{(S-33)DF} = \theta_{S-DF} - \theta_{33-DF}$ | | 10 |
| Moisture-Tension | | | |
| $\psi_{(1500-33)}$ | $\psi_{\theta} = A(\theta)^{-B}$ | | 11 |
| $\psi_{(33-\psi_e)}$ | $\psi_{\theta} = 33.0 - [(0 - \theta_{33})(33.0 - \psi_e)/(\theta_S - \theta_{33})]$ | | 12 |
| $\theta_{(\psi_e-0)}$ | $\theta = \theta_S$ | | 13 |
| A | $A = \exp(\ln 33 + B \ln \theta_{33})$ | | 14 |
| B | $B = [\ln(1500) - \ln(33)]/[\ln(\theta_{33}) - \ln(\theta_{1500})]$ | | 15 |
| Moisture-Conductivity | | | |
| K_S | $K_S = 1930(\theta_S - \theta_{33})^{(3-\lambda)}$ | | 16 |
| K_{θ} | $K_{\theta} = K_S(\theta/\theta_S)^{[3 + (2/\lambda)]}$ | | 17 |
| λ | $\lambda = 1/B$ | | 18 |
| Gravel Effects | | | |
| R_v | $R_v = (\alpha R_w)/[1 - R_w(1 - \alpha)]$ | | 19 |
| ρ_B | $\rho_B = \rho_N(1 - R_v) + (R_v \times 2.65)$ | | 20 |
| PAW_B | $PAW_B = PAW(1 - R_v)$ | | 21 |
| K_b/K_s | $K_b/K_s = \frac{1 - R_w}{[1 - R_w(1 - 3\alpha/2)]}$ | | 22 |
| Salinity Effects | | | |
| Ψ_O | $\Psi_O = 36EC$ | | 23 |
| $\Psi_{O\theta}$ | $\Psi_{O\theta} = \frac{\theta_S}{\theta}(36EC)$ | | 24 |

그림 2.3.5 함수특성 예측을 위한 식 정리

2.2 테스트베드 최적토양수분

가. 테스트베드 토양특성

본 연구의 테스트베드의 3위치에서 심도 10, 30, 50cm에서 채취한 토양의 모래, 실트 및 점토함량을 조사하였다.

표 2.3.1 테스트베드 토양의 입도특성

| 구분 | 대조구 1 | | | 대조구 2 | | | 대조구 3 | | | 평균 |
|----|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|
| | 10cm | 30cm | 50cm | 10cm | 30cm | 50cm | 10cm | 30cm | 50cm | |
| 모래 | 69.9 | 56.3 | 66.6 | 70.5 | 58.9 | 68.9 | 71.6 | 60.8 | 71.8 | 66.1 |
| 실트 | 23.2 | 32.8 | 25.7 | 22.4 | 29.9 | 22.5 | 21.7 | 29.0 | 21.8 | 25.5 |
| 점토 | 6.9 | 10.9 | 7.7 | 7.1 | 11.2 | 8.6 | 6.7 | 10.2 | 6.4 | 8.4 |

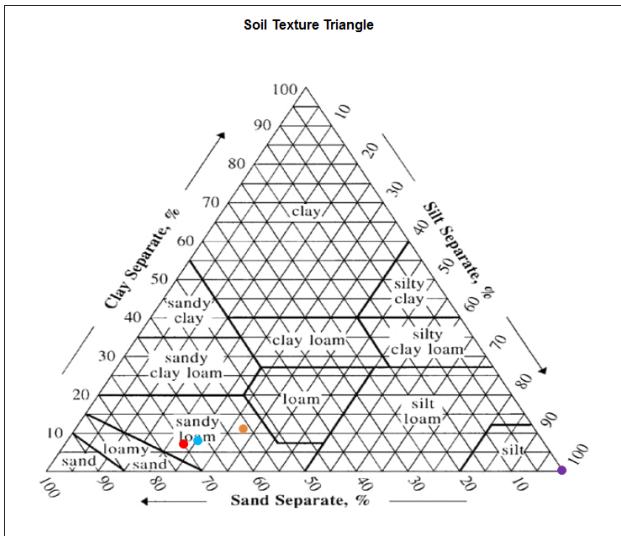


그림 2.3.6 대조구 1의 토양분류

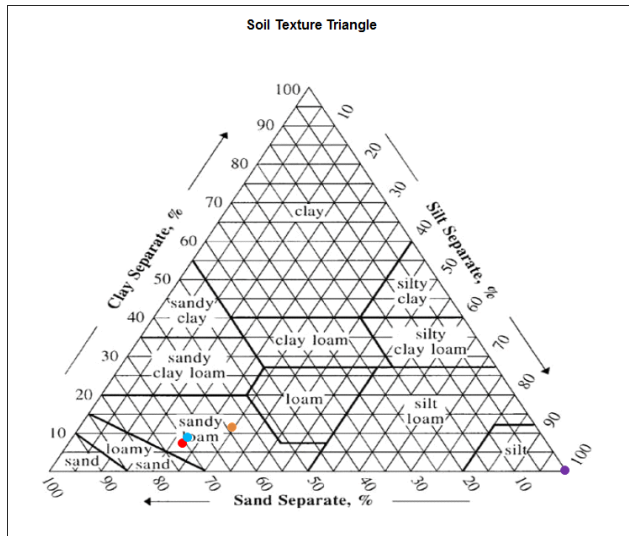


그림 2.3.7 대조구 2의 토양분류

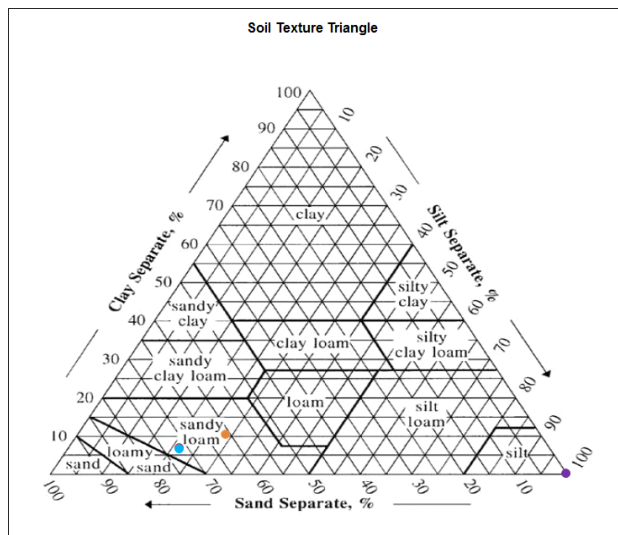


그림 2.3.8 대조구 3의 토양분류

테스트베드의 토양은 sandy loam에 해당되고 평균적으로 모래 66.1%, 실트 25.5%, 점토 8.4%로 구성되어 있는 토양이며 강열감량에 의한 토양의 유기물함량은 9.0%로 나타났다. 이상의 결과를 이용하여 테스트베드 토양의 작물생육과 관련한 함수비관계를 나타내면 다음과 같다.

표 2.3.2 테스트베드 토양의 토양함수특성

| 특성 | 포장용수량 | 수분당량 | 생장저해수분점 | 영구위조점 | 비고 |
|------------|-------|-------|---------|----------|----|
| 수분장력 | 33kPa | 50kPa | 100kPa | 1,500kPa | |
| 함수비(Vol.%) | 23.9% | 22.0% | 19.2% | 11.1% | |

나. 최적토양수분 범위

앞의 개요에서 살폈듯이 토양수분은 pF 2.7 전후의 범위에서 조절하는 것이 가장 바람직할 것으로 보인다. 따라서 본 테스트베드에서는 22%의 체적함수비를 유지하는 것이 바람직하며 19%이하로 떨어지면 작물의 생육이 저해되기 시작하는 시점이므로 테스트베드에 설치한 토양함수비 센서의 값이 최대한 22.0%에서 변동하도록 관개하는 것이 바람직하다.

3. 토양수분 제어모형 개발을 위한 테스트베드 운영결과 분석

3.1 지하수위 모니터링 결과

지하수위는 작물의 근근역까지 상승하여 지속적으로 유지되는 경우 작물의 생육에 영향을 미치며 농업생산기반정비계획설계기준(배수편)에서는 강우 후 일정 시간이 지나면 특정심도 이하로 낮추어 관리할 수 있도록 제안하고 있다. 따라서 지하수위계를 이용하여 현재 테스트베드에서 지하수위의 거동을 고찰하고 시스템의 적용성을 검토하고자 하였다.

다음은 2017년 전반기 감자 재배시기의 지하수위 거동을 나타낸다.

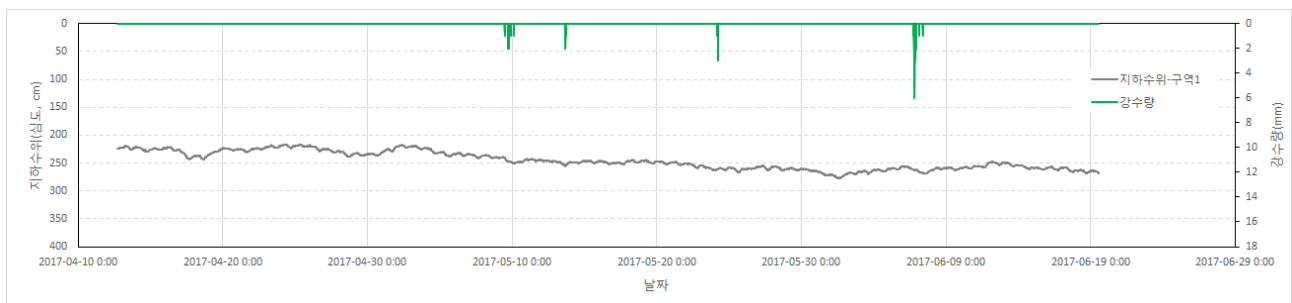


그림 2.3.9 감자 재배시기 강수량 및 지하수위-구역1

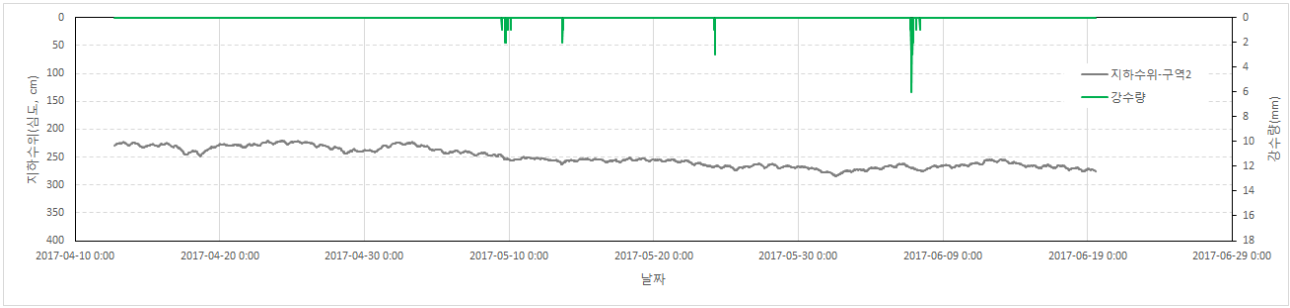


그림 2.3.10 감자 재배시기 강수량 및 지하수위-구역2

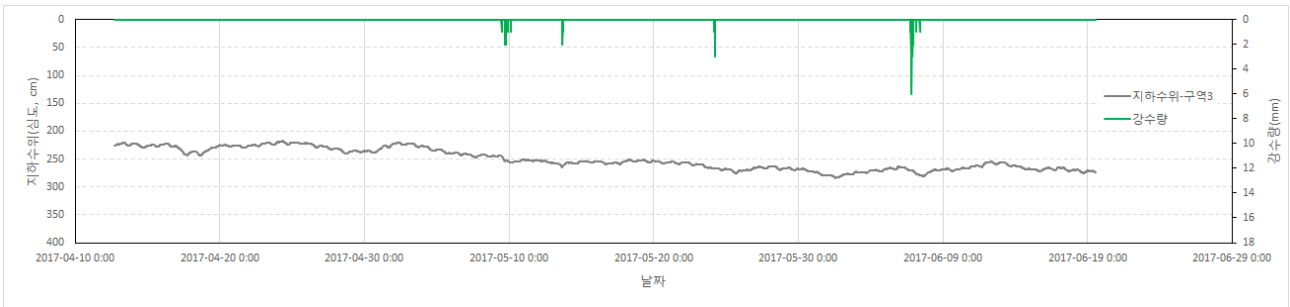


그림 2.3.11 감자 재배시기 강수량 및 지하수위-구역3

상기에서 보는 바와 같이 최근 몇 년간 지속된 가뭄에 의한 감자 재배시기인 2017년 3월 3일 - 6월 20일 기간에 강수량은 매우 적은 수준이며 지하수위는 지표면 이하 2.0m 이상으로 상승하지 않고 유지되었다. 따라서 구축된 시스템에 의해 지하배수를 수행할 경우는 발생하지 않았다. 다음은 2017년 하반기 콩 재배시기의 지하수위 거동을 나타낸다.

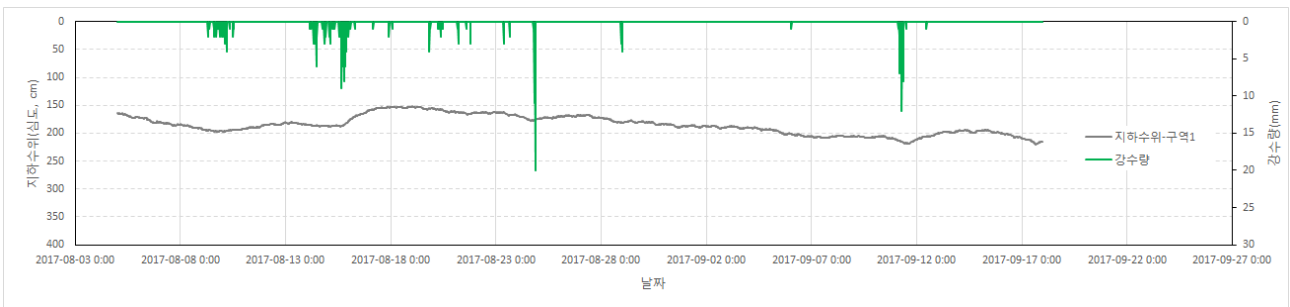


그림 2.3.12 콩 재배시기 강수량 및 지하수위-구역1

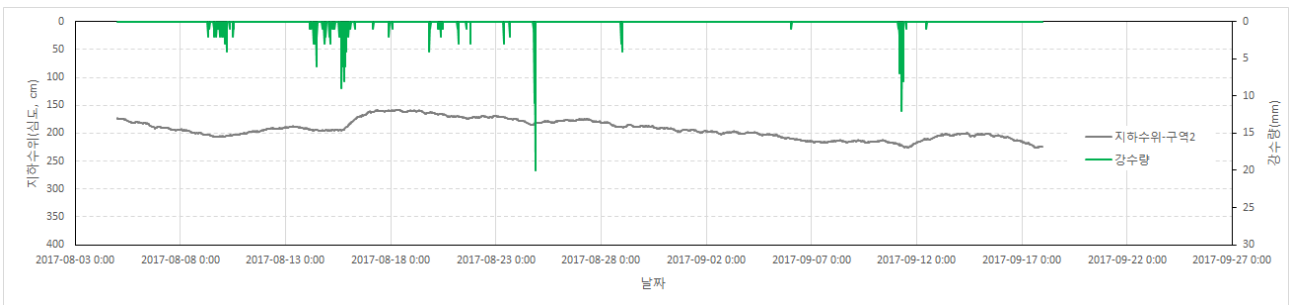


그림 2.3.13 콩 재배시기 강수량 및 지하수위-구역2

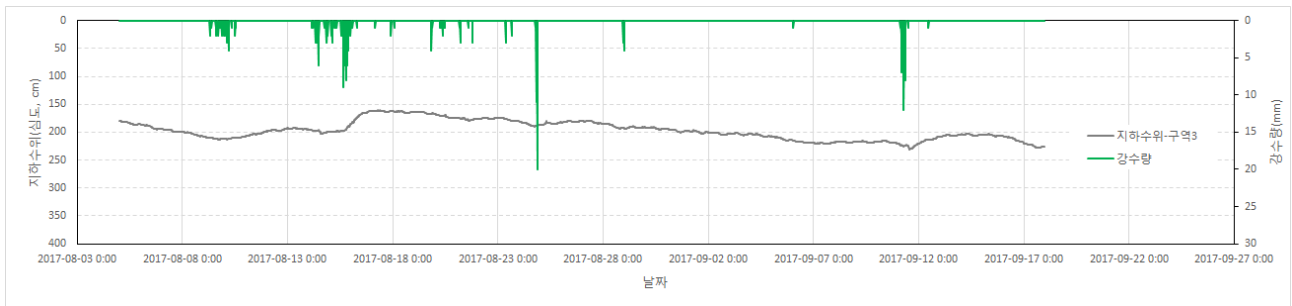


그림 2.3.14 콩 재배시기 강수량 및 지하수위-구역3

상기에서 보는 바와 같이 감자 재배시기와 달리 강수량이 많았으며 이에 따라 지하수위는 감자 재배시기에 비하여 상승하였으나 전체적으로 지표면 이하 1.5m 이상으로 상승하지 않고 유지되었다. 따라서 구축된 시스템에 의해 지하배수를 수행할 경우는 발생하지 않았다. 지하배수는 농지범용화를 고려한 시설로 밭농업 중에는 지하배수를 지속적으로 수행하는 것이 바람직하고 향후 논으로 다시 전환하는 경우 지하배수를 시행하지 않는 것이 바람직하다.

3.2 토양수분 모니터링 결과

토양수분 센서는 테스트베드에 총 9개소에 위치하며 각 구역에 3개소이며 각 센서는 심도 10, 20, 30, 40cm 에서 토양수분을 측정한다.

- 구역1 센서 : 1-1, 1-2, 1-3, 각 센서 심도 10cm, 20cm, 30cm, 40cm
- 구역2 센서 : 2-1, 2-2, 2-3, 각 센서 심도 10cm, 20cm, 30cm, 40cm
- 구역3 센서 : 3-1, 3-2, 3-3, 각 센서 심도 10cm, 20cm, 30cm, 40cm

다음은 감자 및 콩 재배기간 동안의 각 센서의 토양수분 센서의 값을 나타낸다. 현재 테스트베드에서는 토양수분 제어 시나리오를 적용하지 않았으며 경험적인 관개 및 배수를 실시하는 경우에 대한 값을 나타낸다. 이상의 결과를 분석하여 향후 3차년도에 토양수분 제어 시나리오를 적용한 경우와 비교 분석하여 시스템의 적용성과 효과를 검증할 계획이다.

각 센서의 값과 함께 강수량과 토양의 함수특성을 함께 나타내었으며 관행적으로 실시한 관개 현황을 나타내었다. 먼저 감자 재배시의 토양수분의 변화를 보면 모든 구역에서 전반적으로 심도가 깊을수록 토양수분이 높고 관개 또는 강수량에 따른 변동이 작고 심도가 얕을수록 관개 또는 강수량에 따른 변동이 큰 것으로 나타났다. 감자의 경우 대략 심도 30cm 까지의 심도에서 성장한다고 했을 때 10, 20, 30cm의 심도에서 토양수분을 성장유효수분 내에서 유지하는 것이 바람직하지만 경험적으로 관개를 실시하는 경우 성장유효수분 내에서 토양수분이 적절히 유지되지 않는 것으로 나타났다. 모든 구역에서 관개 후 토양수분은 포장용수량 이상으로 상승하는 것으로 나타났다. 또한 관개가 토양수분이 성장저해수분점에 접근하는 경우에 시작되어야 하지만 대부분의 경우 일정하지 않게 시작하고 또한 영구위조점에 도달한 경우까지 관개가 실시되지 않는 경우도 많이 발생하였다.

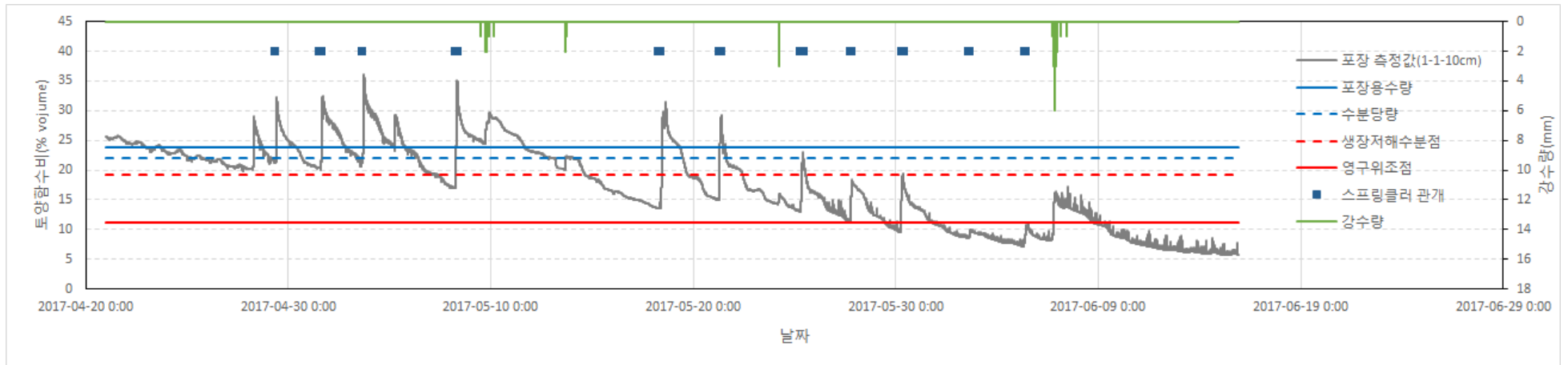


그림 2.3.15 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-1-10cm

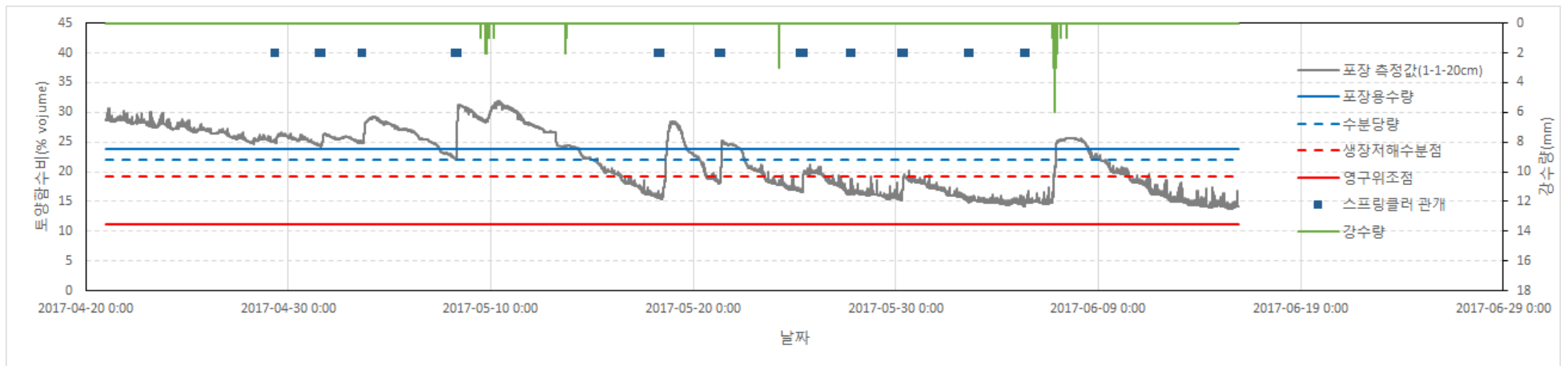


그림 2.3.16 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-1-20cm

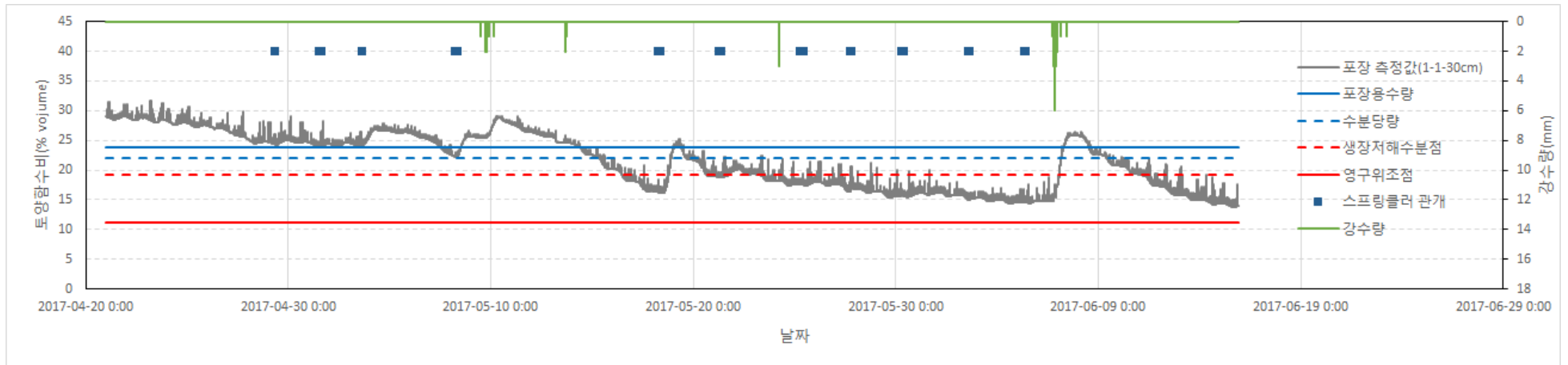


그림 2.3.17 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-1-30cm

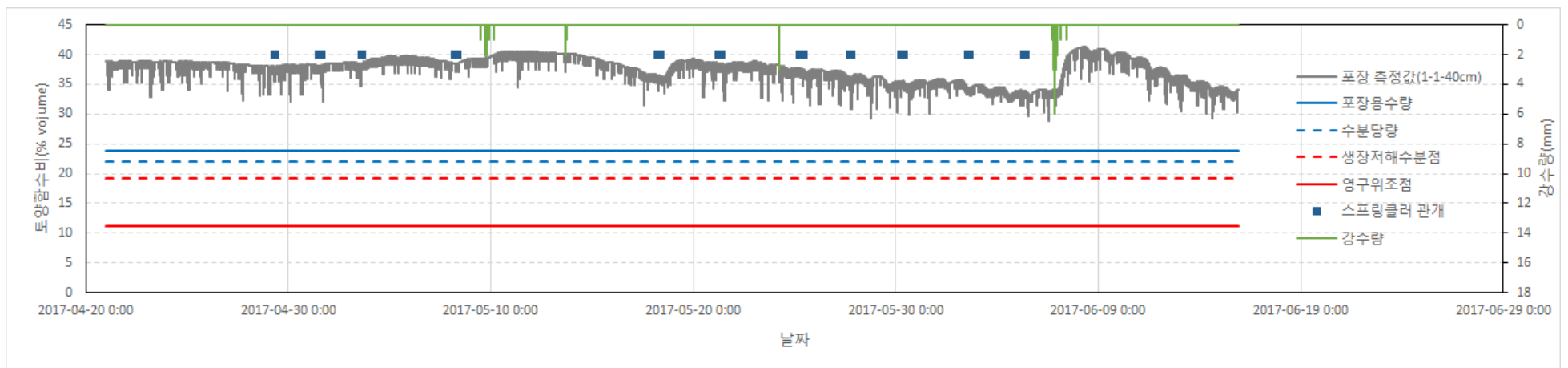


그림 2.3.18 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-1-40cm

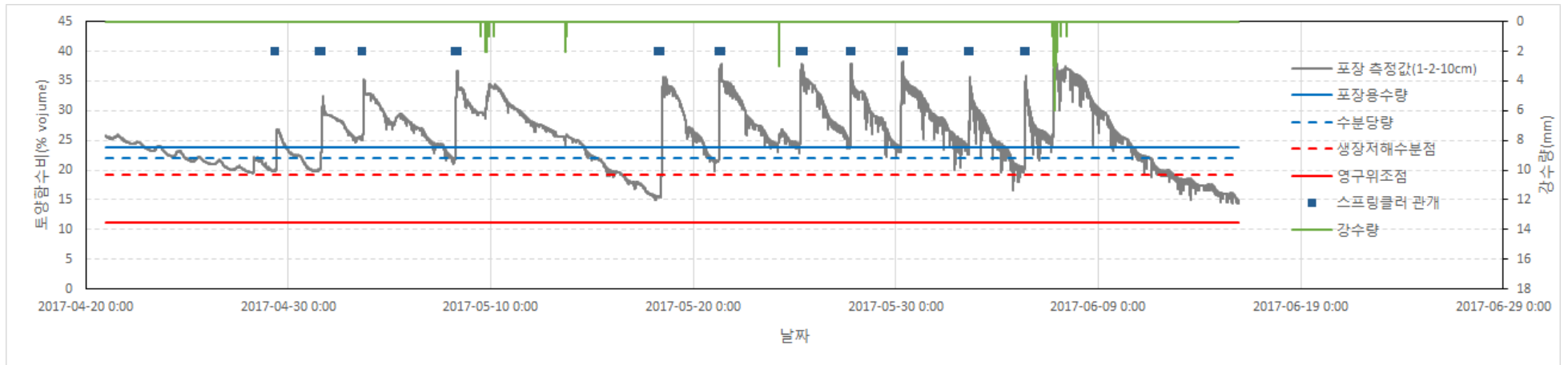


그림 2.3.19 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-2-10cm

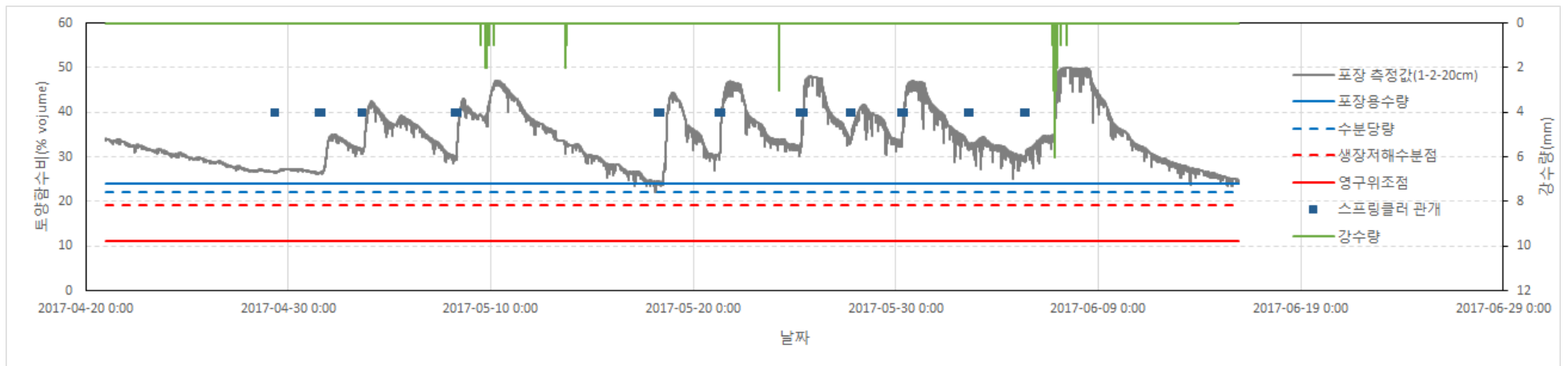


그림 2.3.20 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-2-20cm

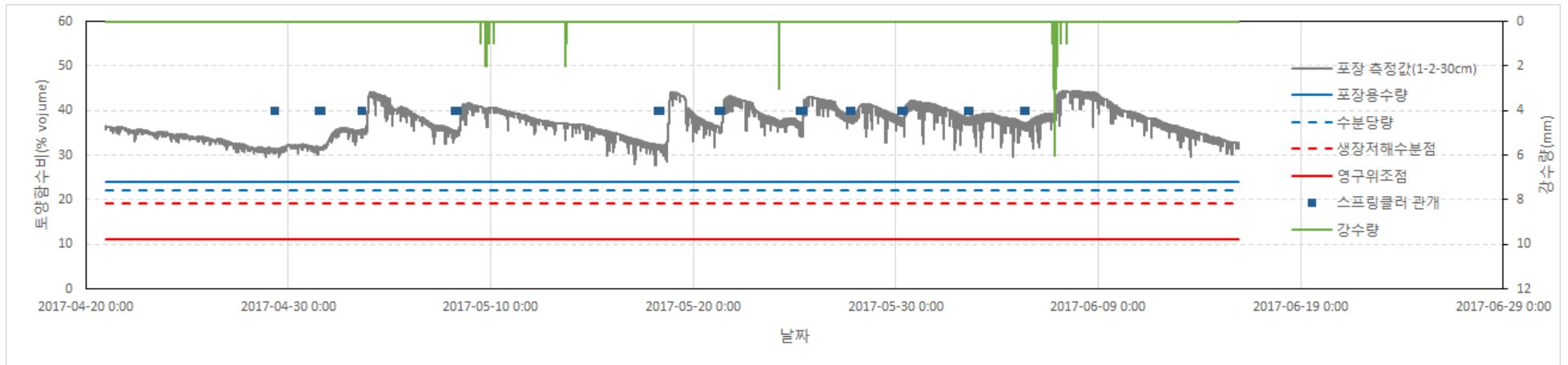


그림 2.3.21 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-2-30cm

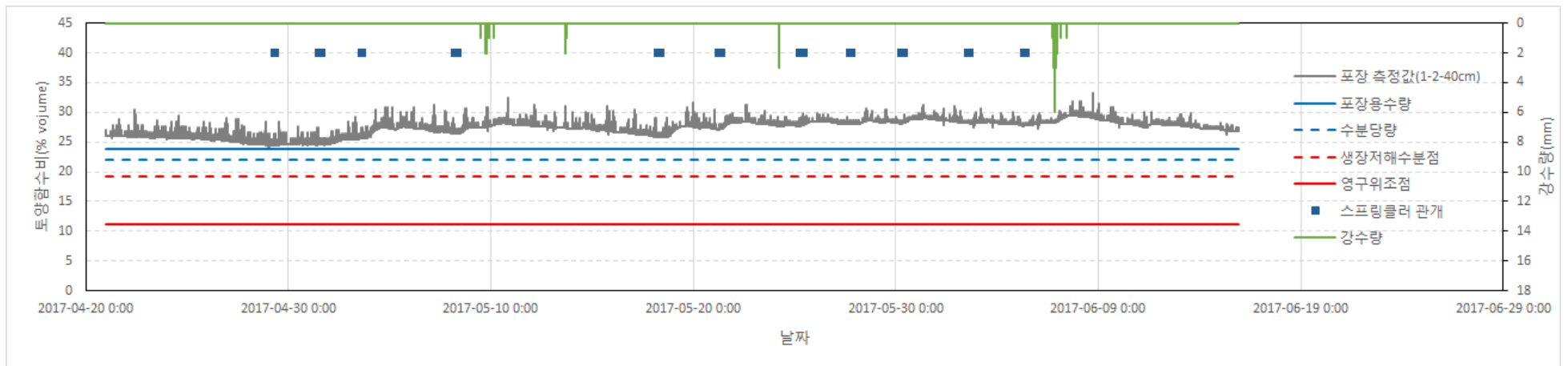


그림 2.3.22 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-2-40cm

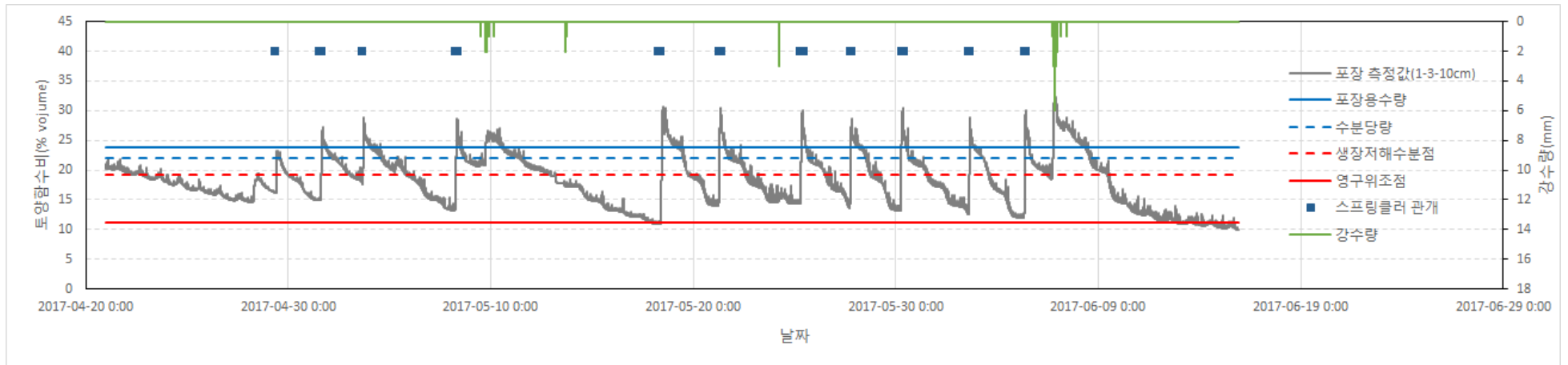


그림 2.3.23 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-3-10cm

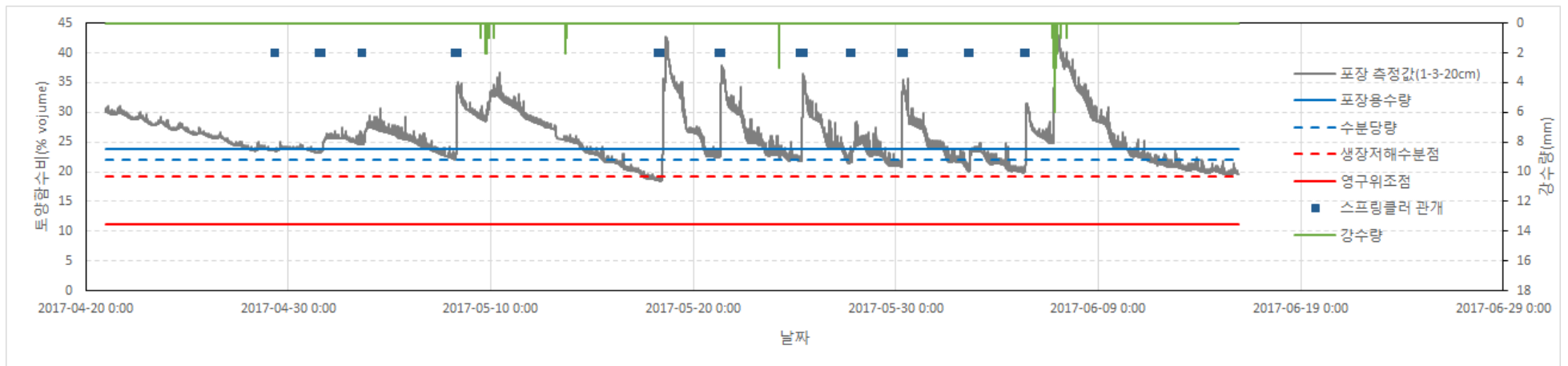


그림 2.3.24 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-3-20cm

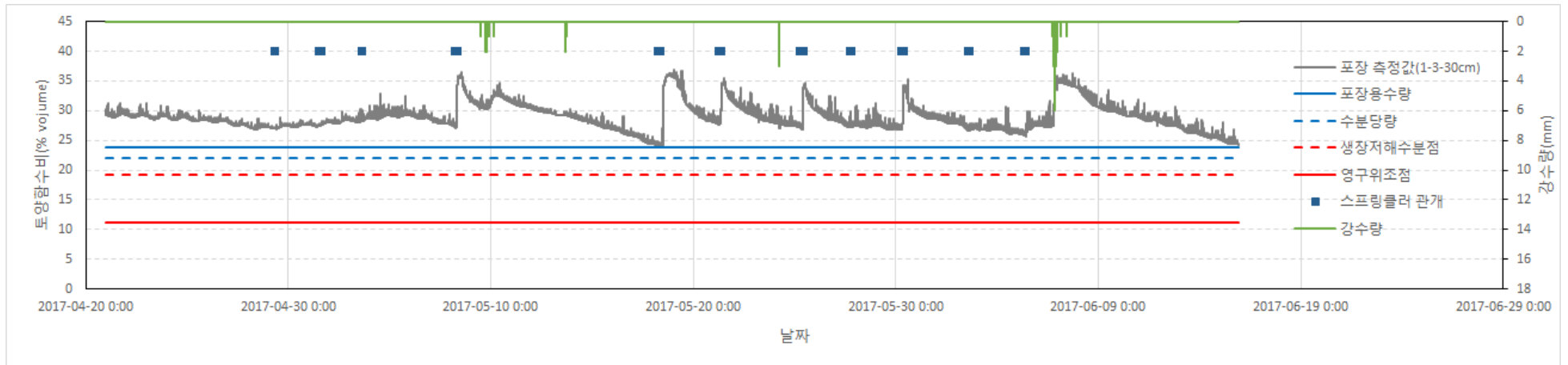


그림 2.3.25 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-3-30cm

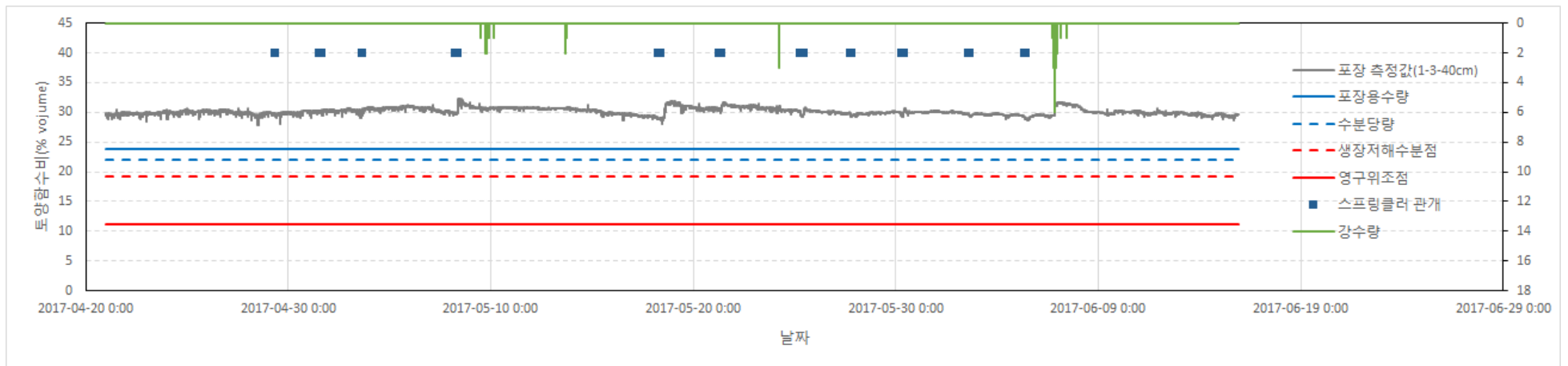


그림 2.3.26 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-3-40cm

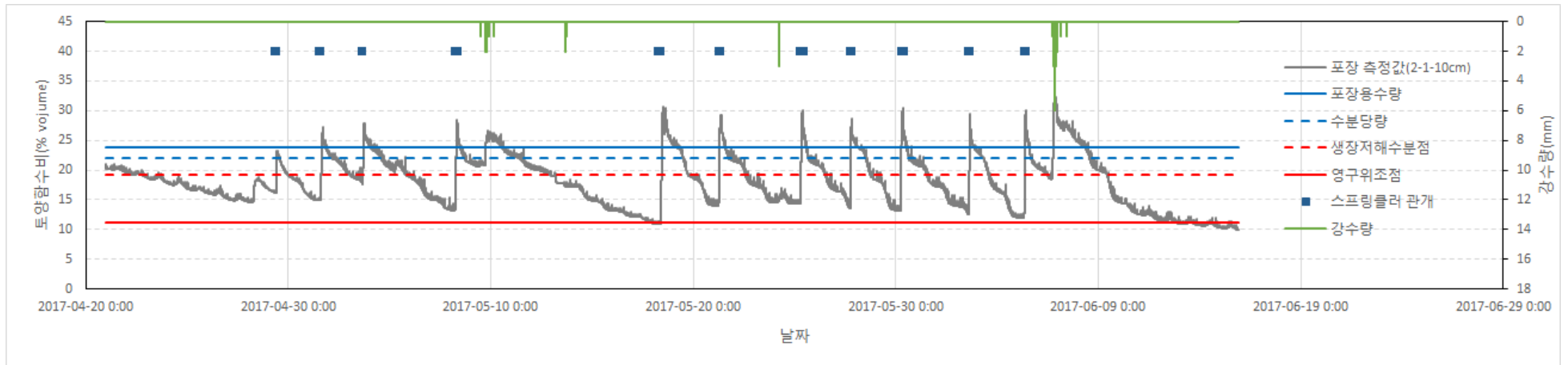


그림 2.3.27 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-1-10cm

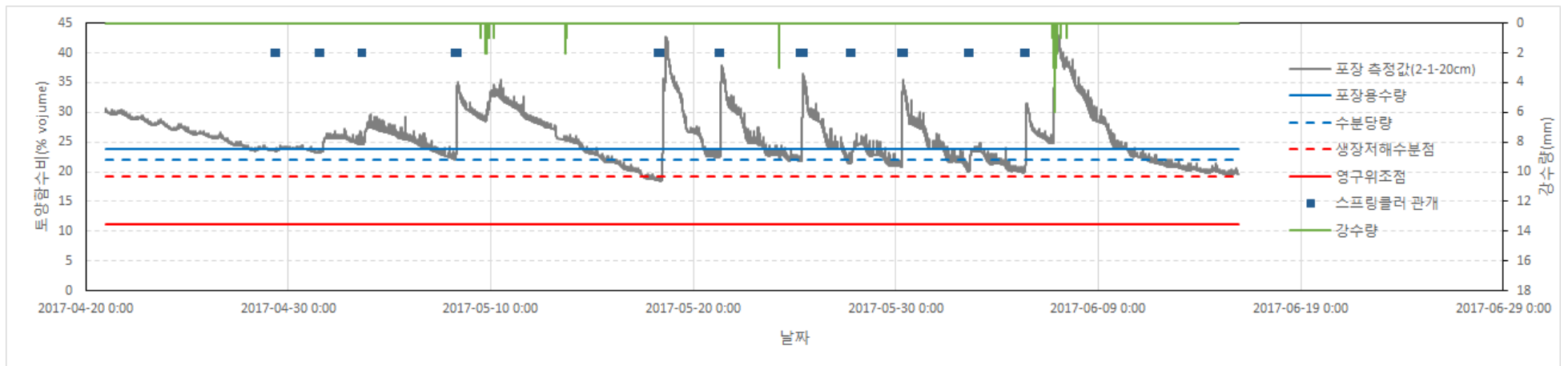


그림 2.3.28 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-1-20cm

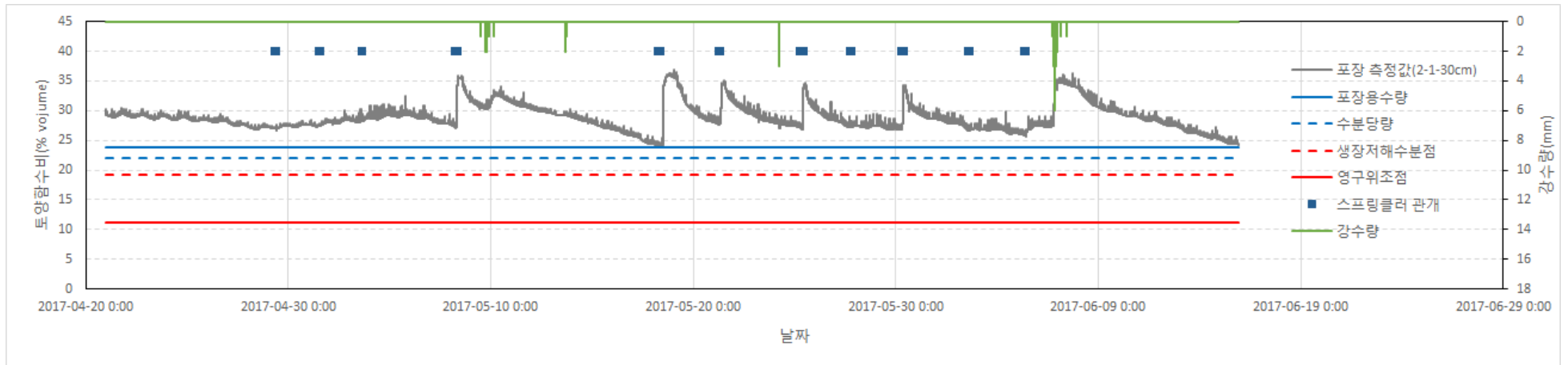


그림 2.3.29 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-1-30cm

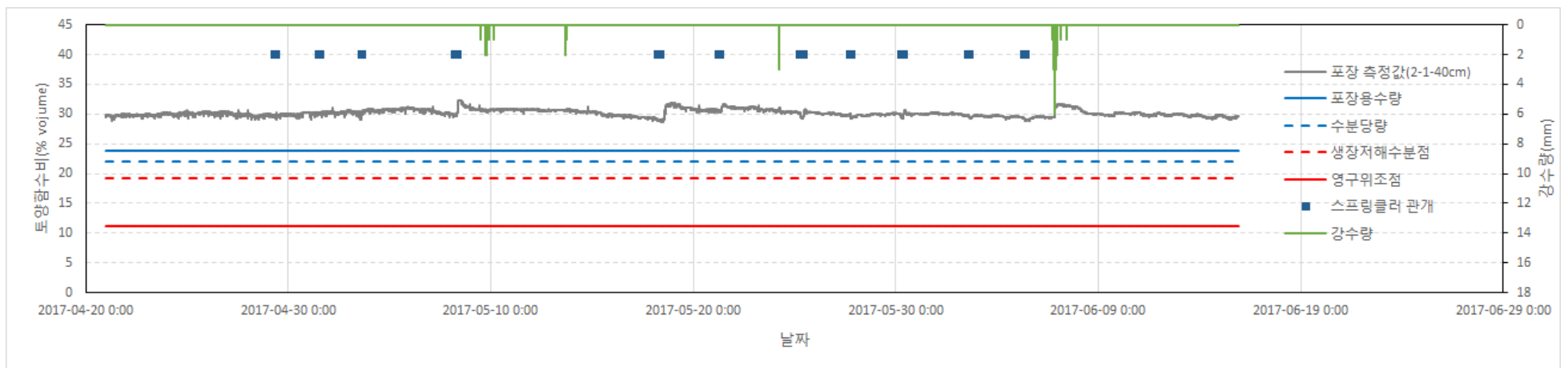


그림 2.3.30 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-1-40cm

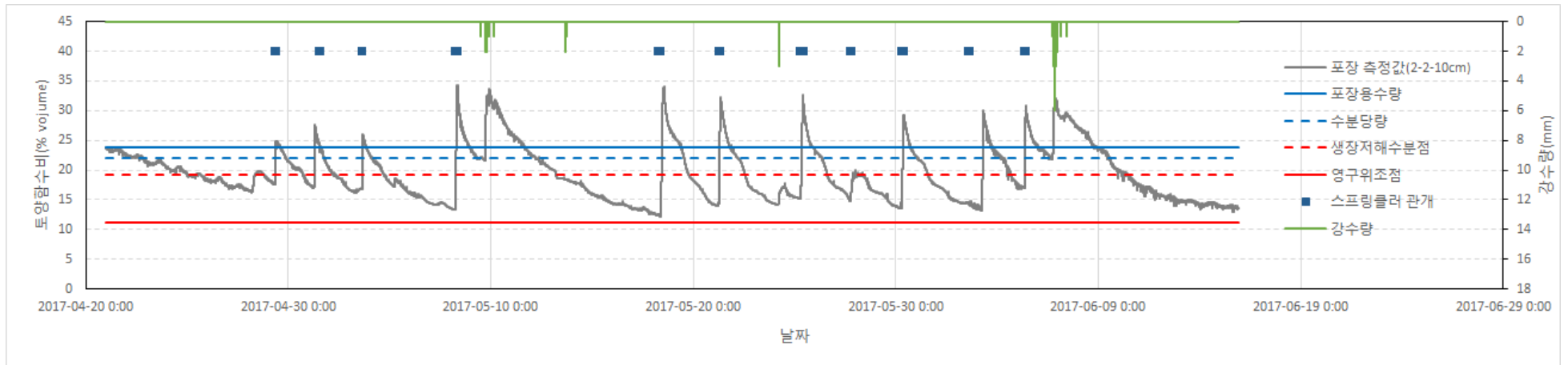


그림 2.3.31 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-2-10cm

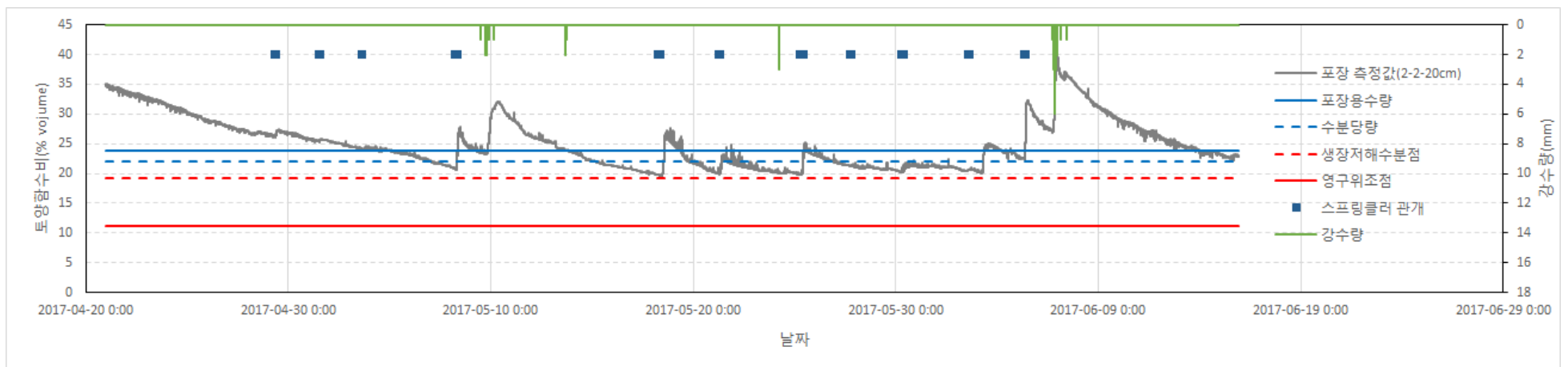


그림 2.3.32 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-2-20cm

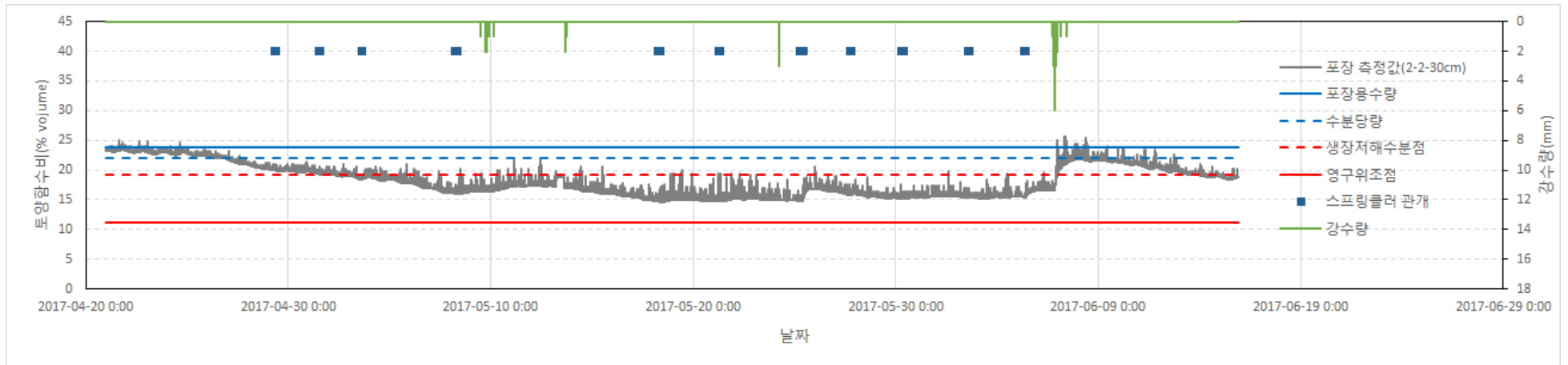


그림 2.3.33 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-2-30cm

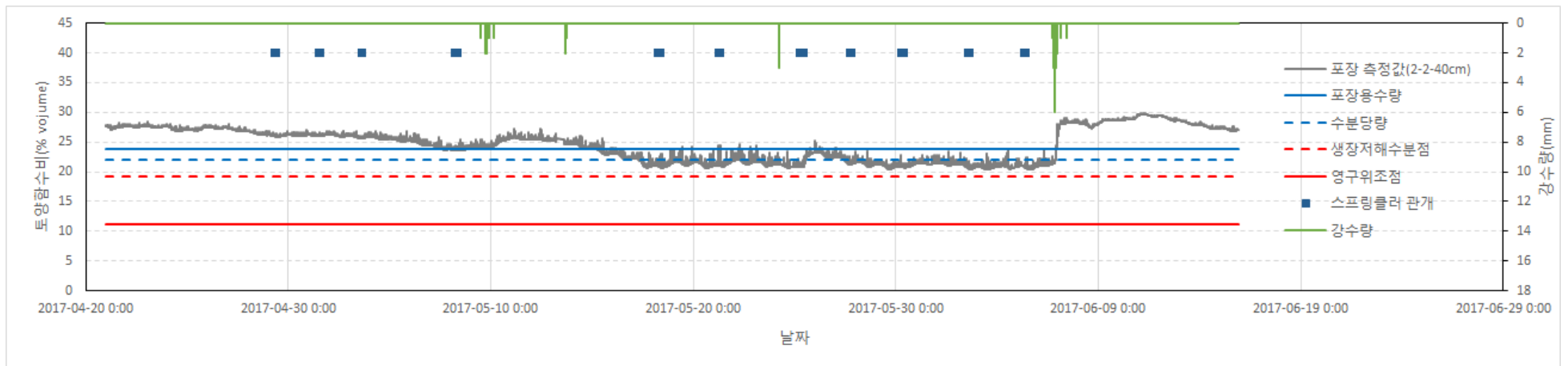


그림 2.3.34 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-2-40cm

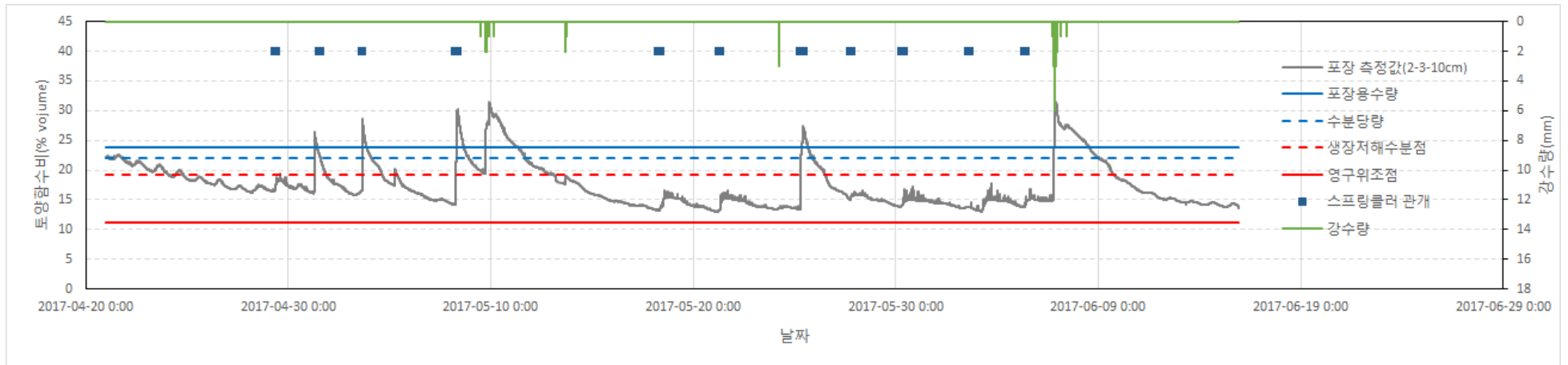


그림 2.3.35 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-3-10cm

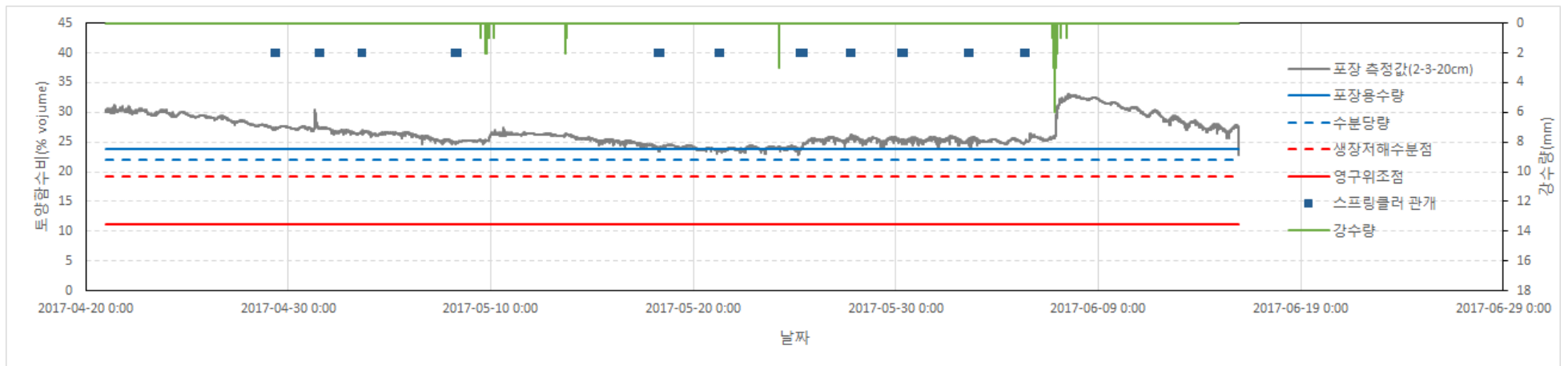


그림 2.3.36 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-3-20cm

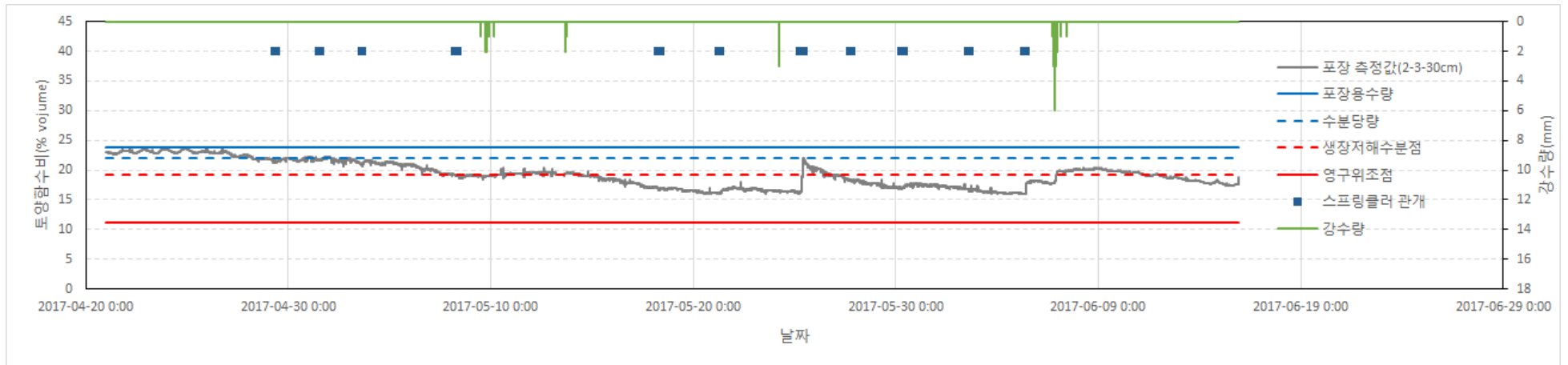


그림 2.3.37 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-3-30cm

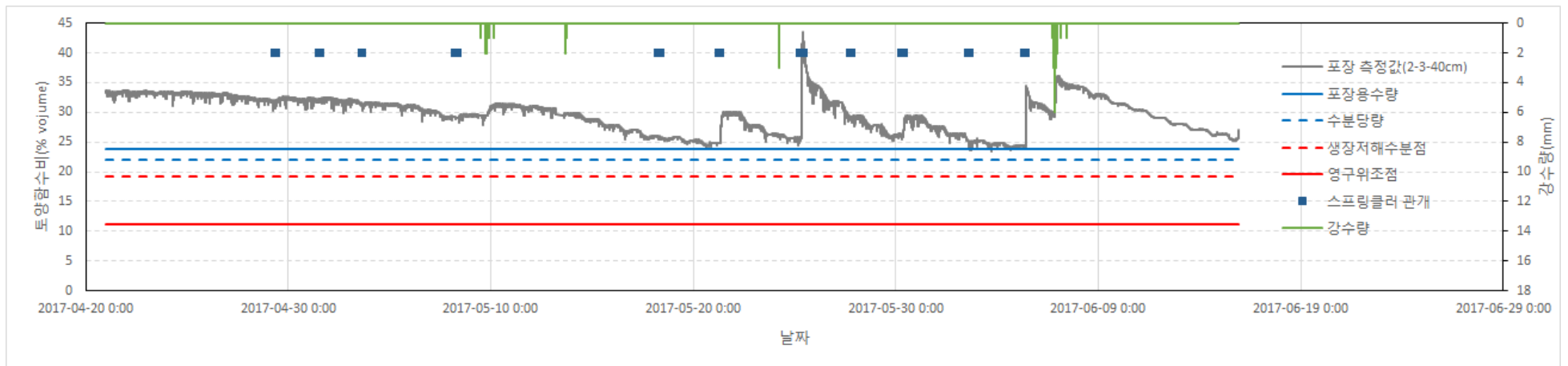


그림 2.3.38 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-3-40cm

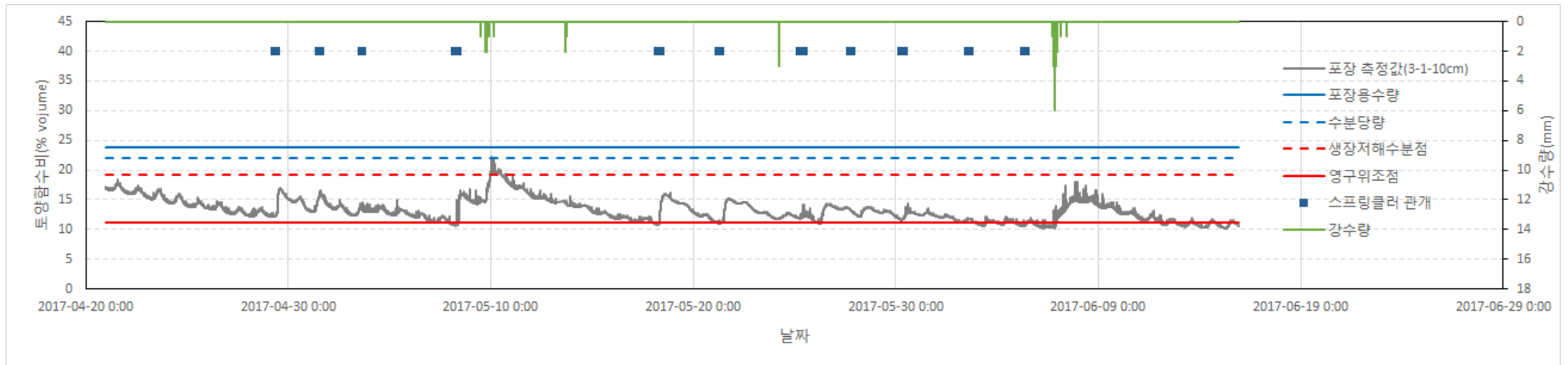


그림 2.3.39 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-1-10cm

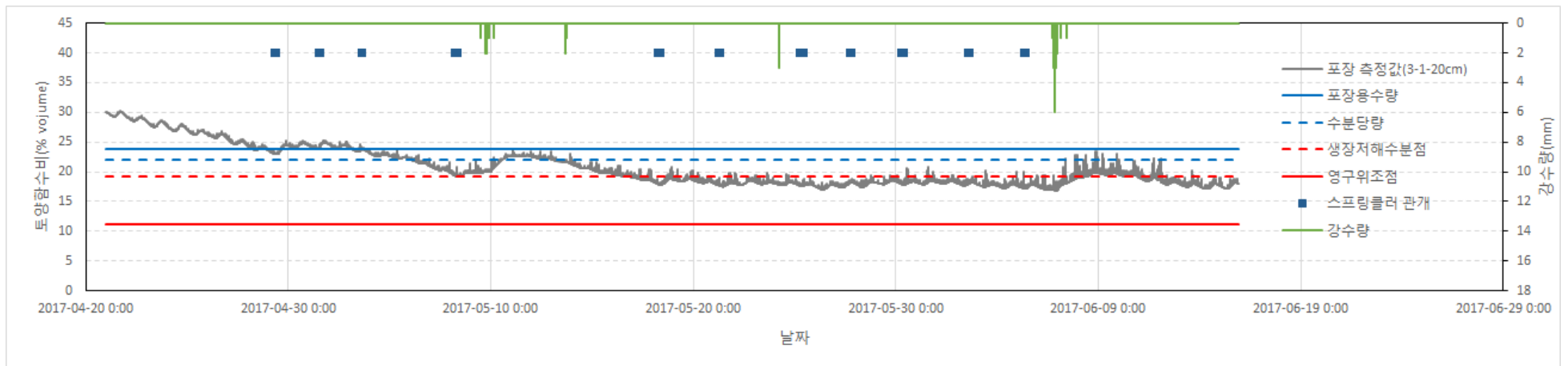


그림 2.3.40 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-1-20cm

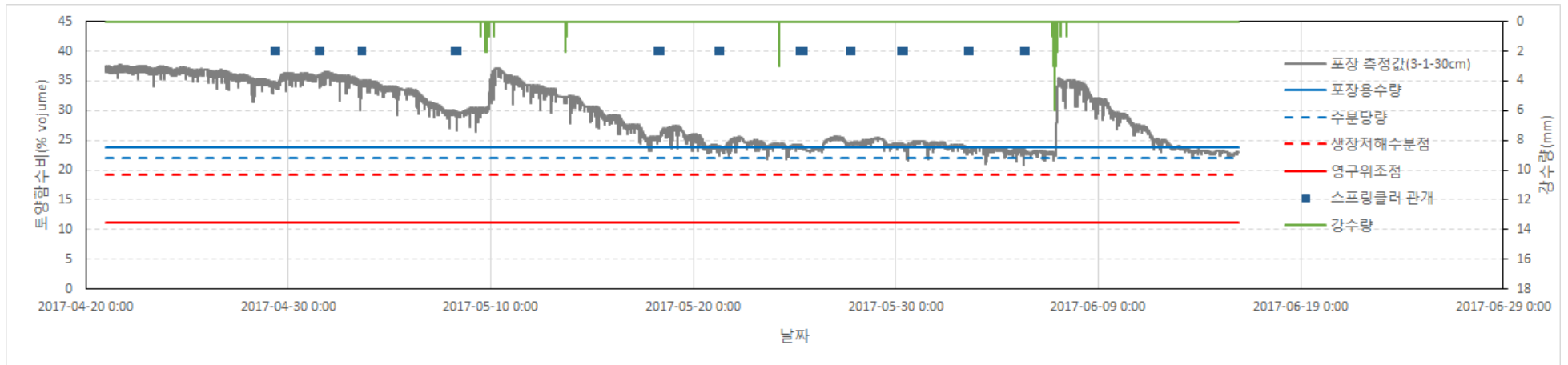


그림 2.3.41 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-1-30cm

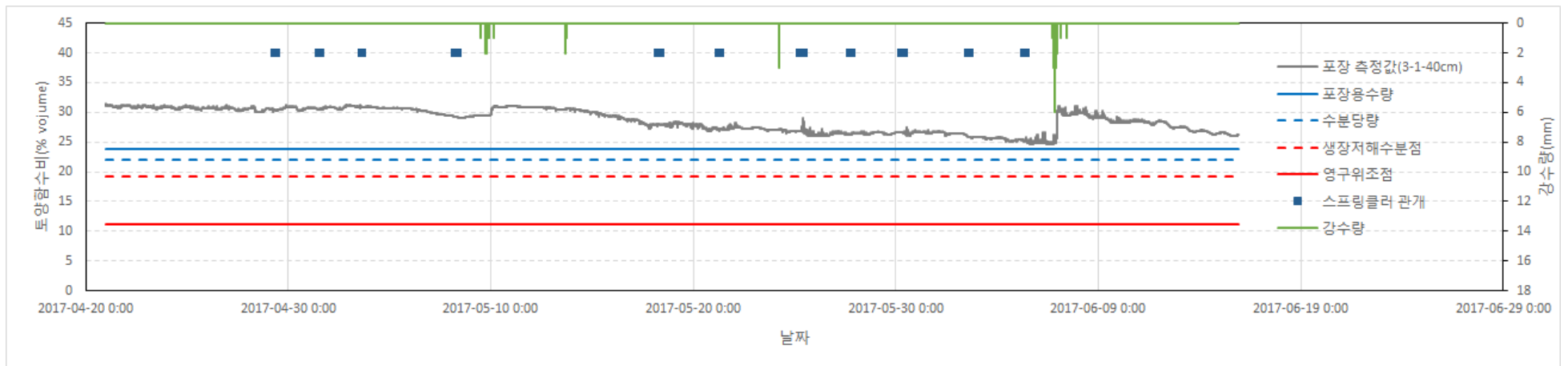


그림 2.3.42 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-1-40cm

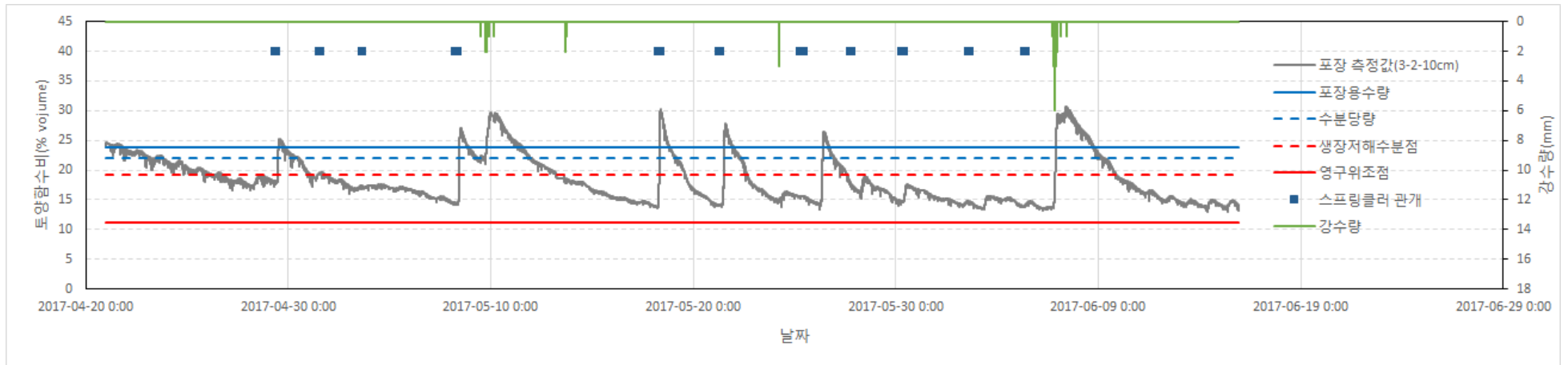


그림 2.3.43 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-2-10cm

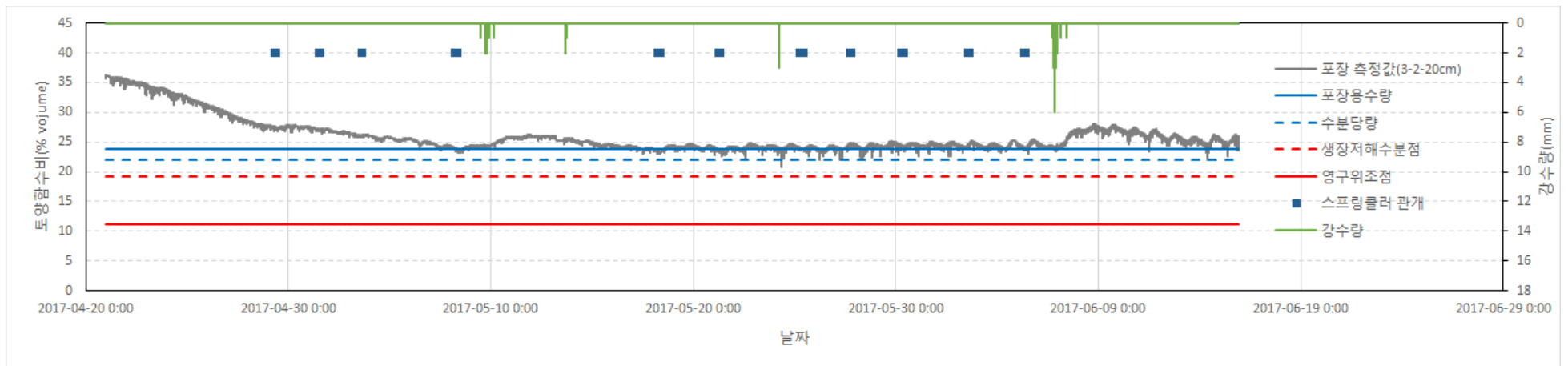


그림 2.3.44 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-2-20cm

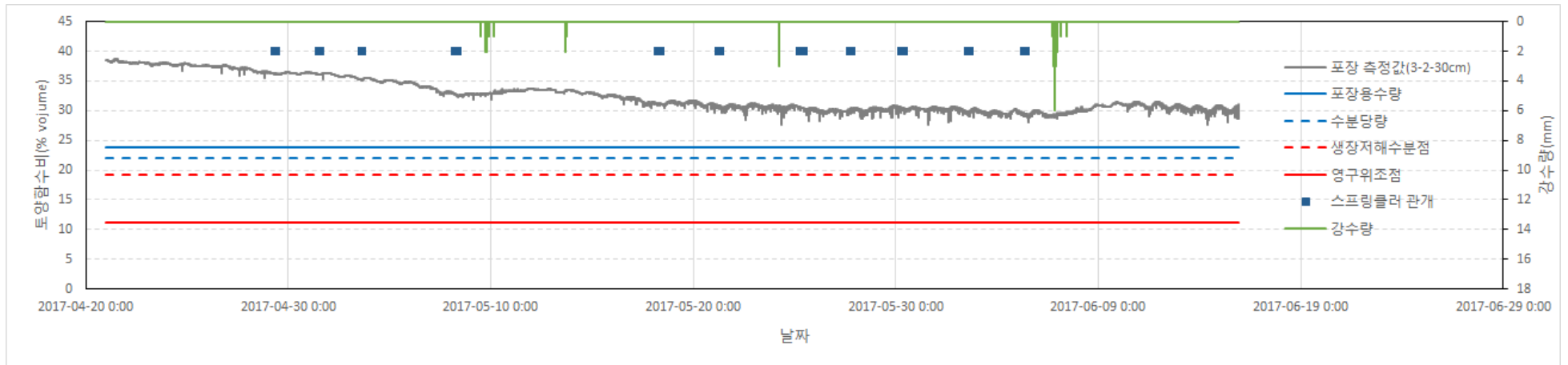


그림 2.3.45 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-2-30cm

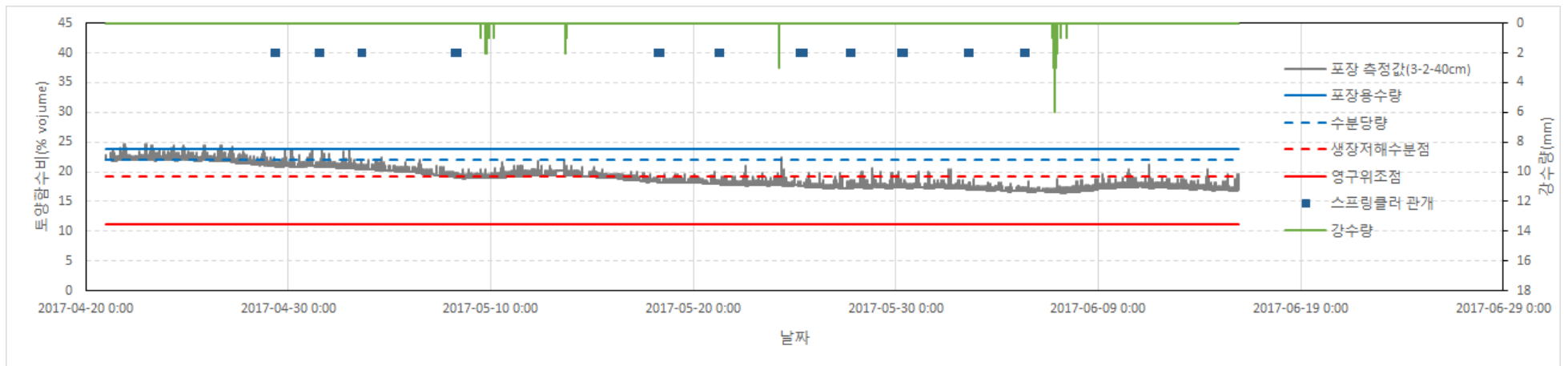


그림 2.3.46 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-2-40cm

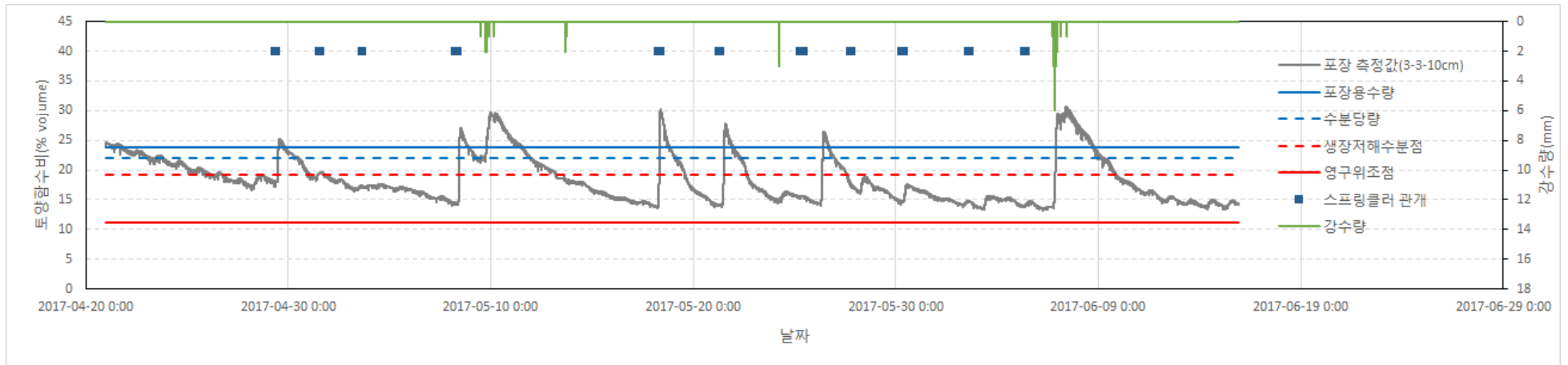


그림 2.3.47 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-3-10cm

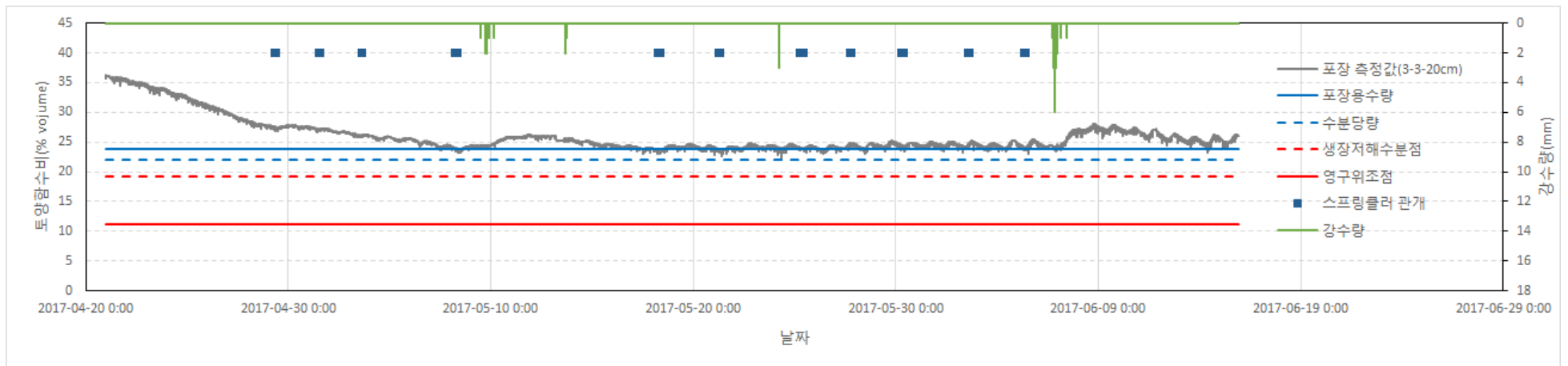


그림 2.3.48 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-3-20cm

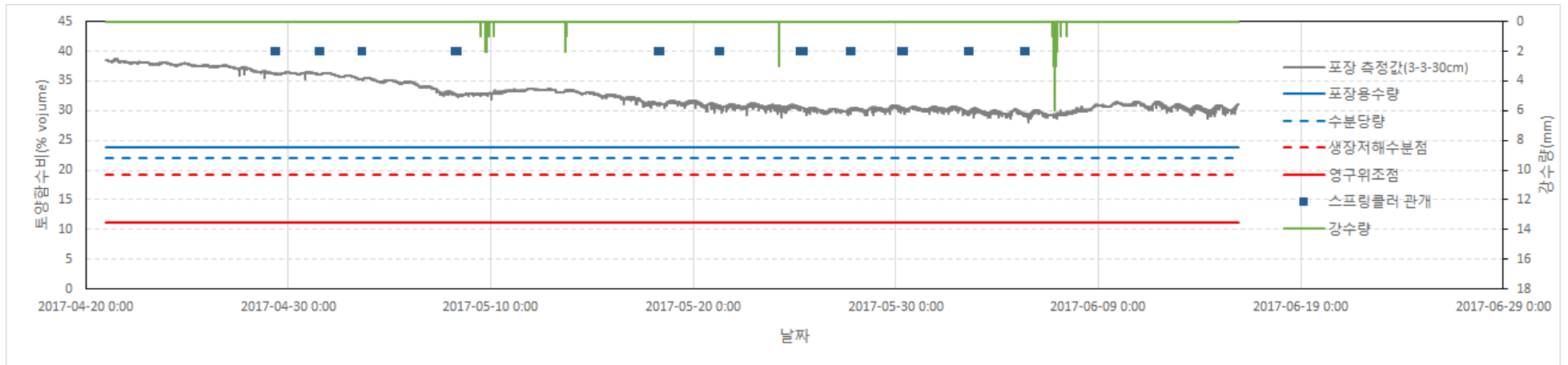


그림 2.3.49 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-3-30cm

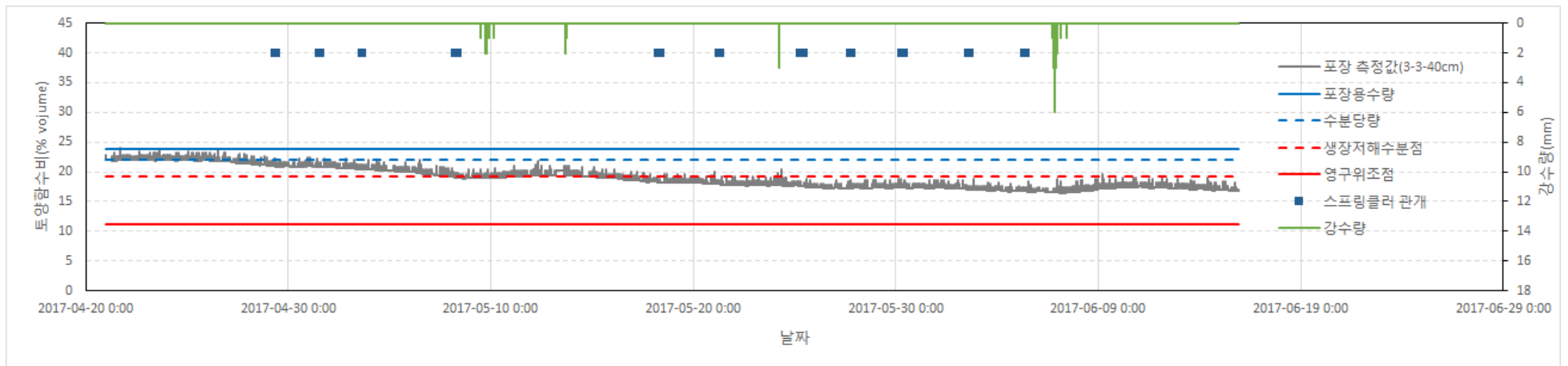


그림 2.3.50 2017년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-3-40cm

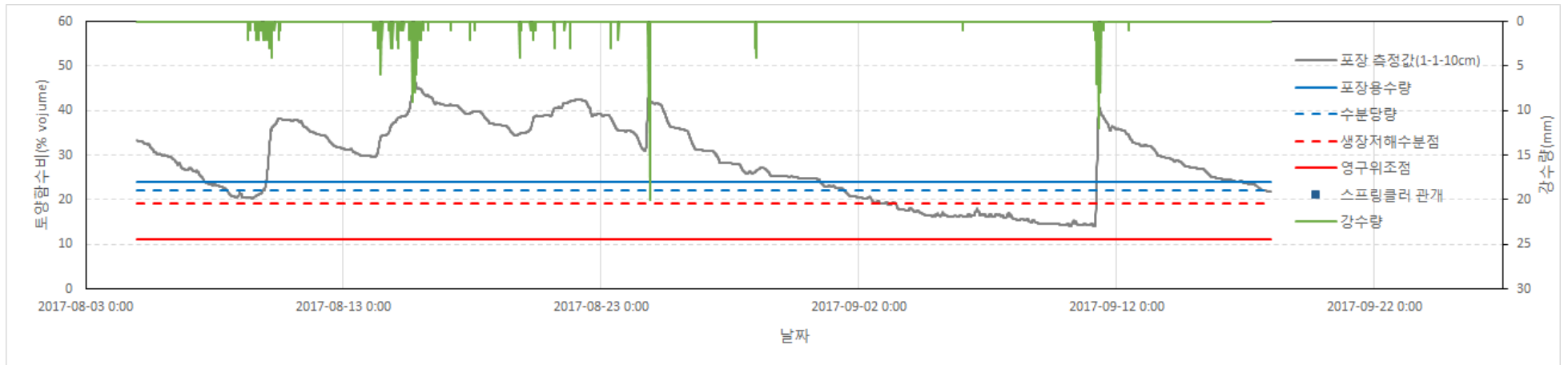


그림 2.3.51 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-1-10cm

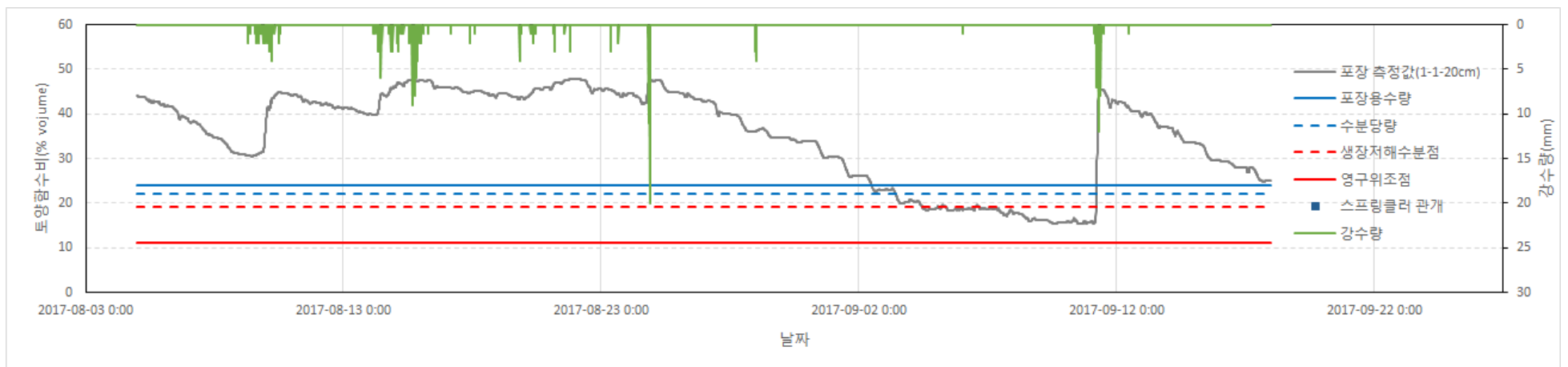


그림 2.3.52 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-1-20cm

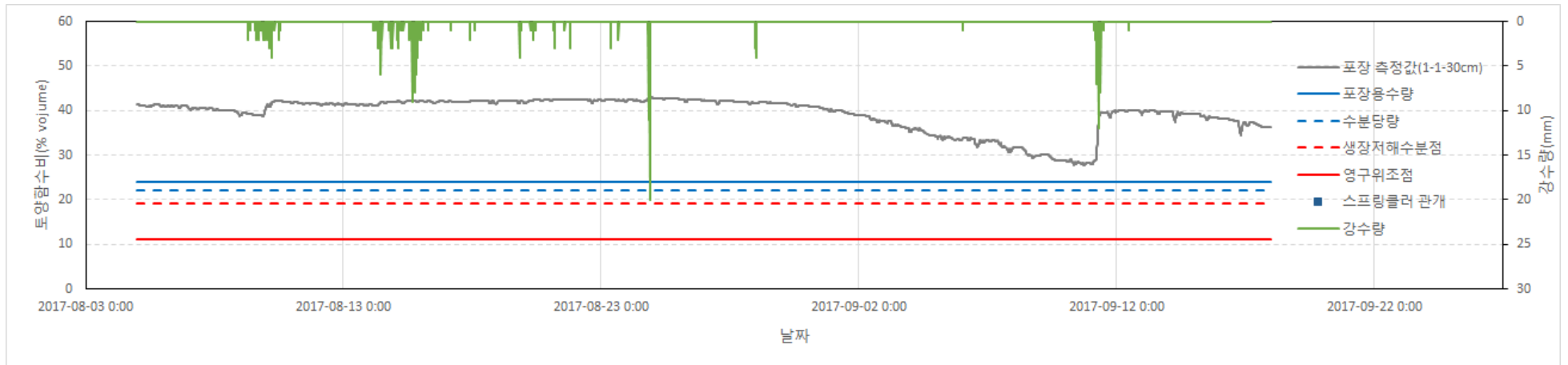


그림 2.3.53 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-1-30cm

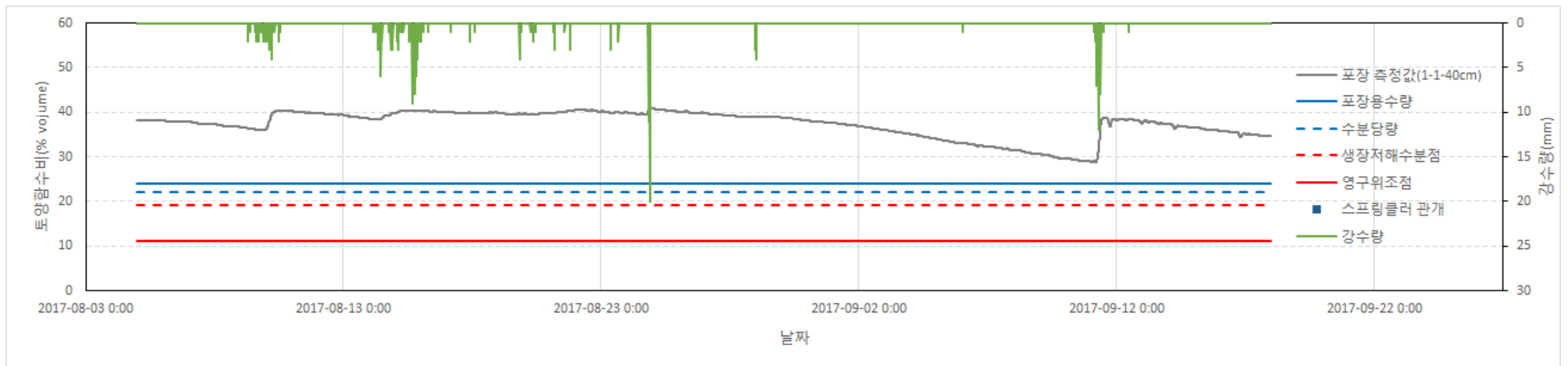


그림 2.3.54 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-1-40cm

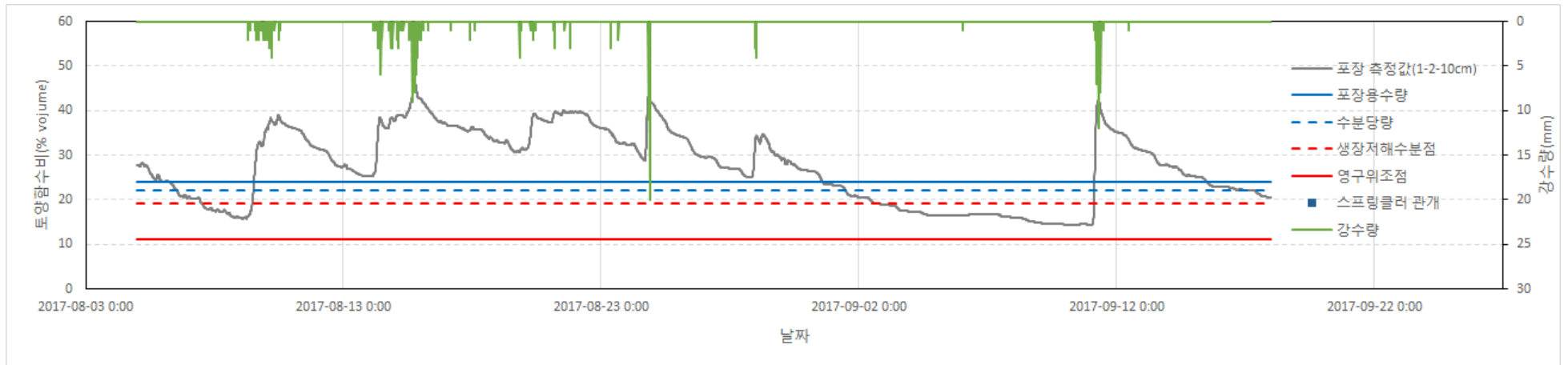


그림 2.3.55 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-2-10cm

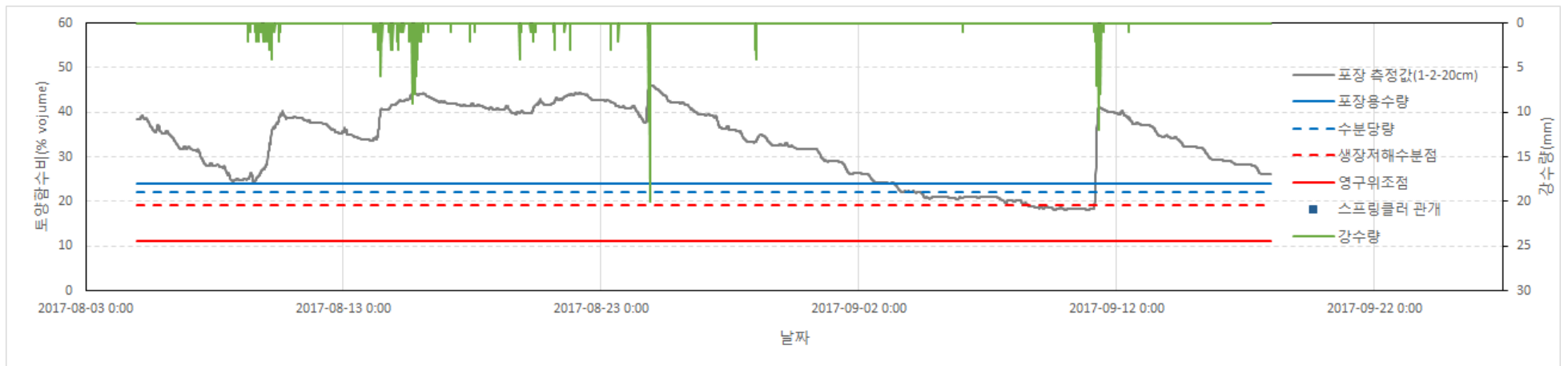


그림 2.3.56 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-2-20cm

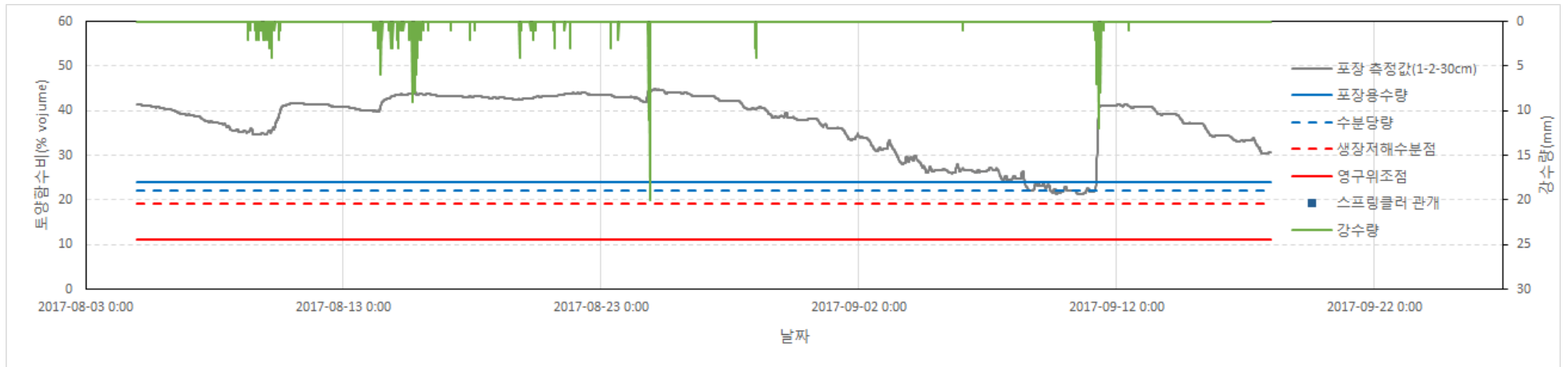


그림 2.3.57 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-2-30cm

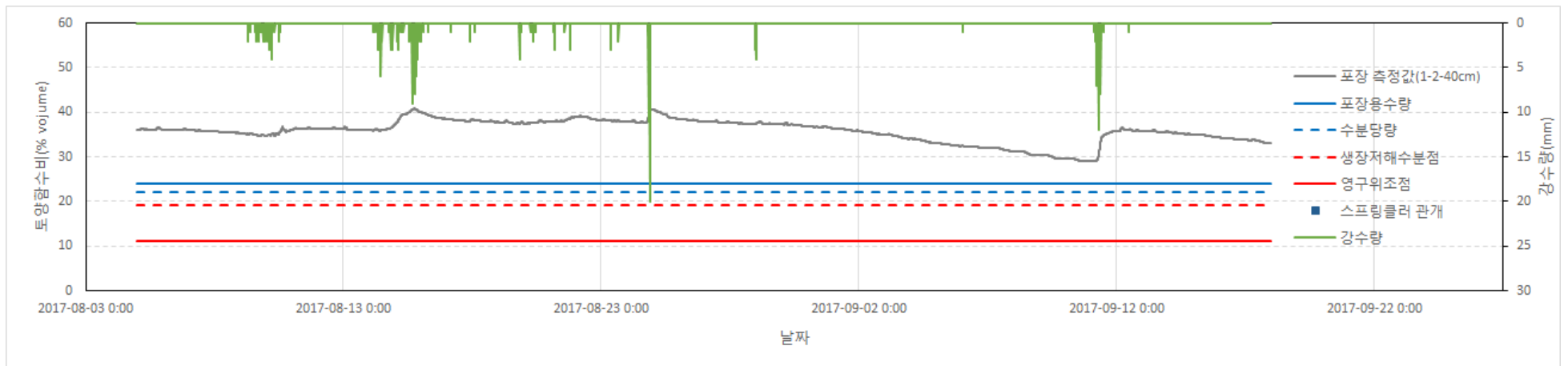


그림 2.3.58 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-2-40cm

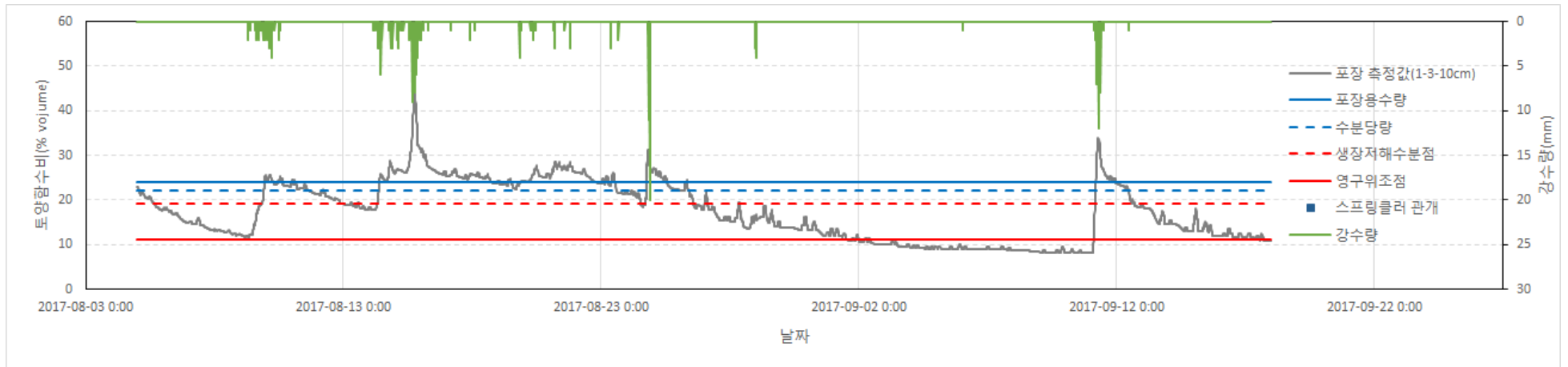


그림 2.3.59 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-3-10cm

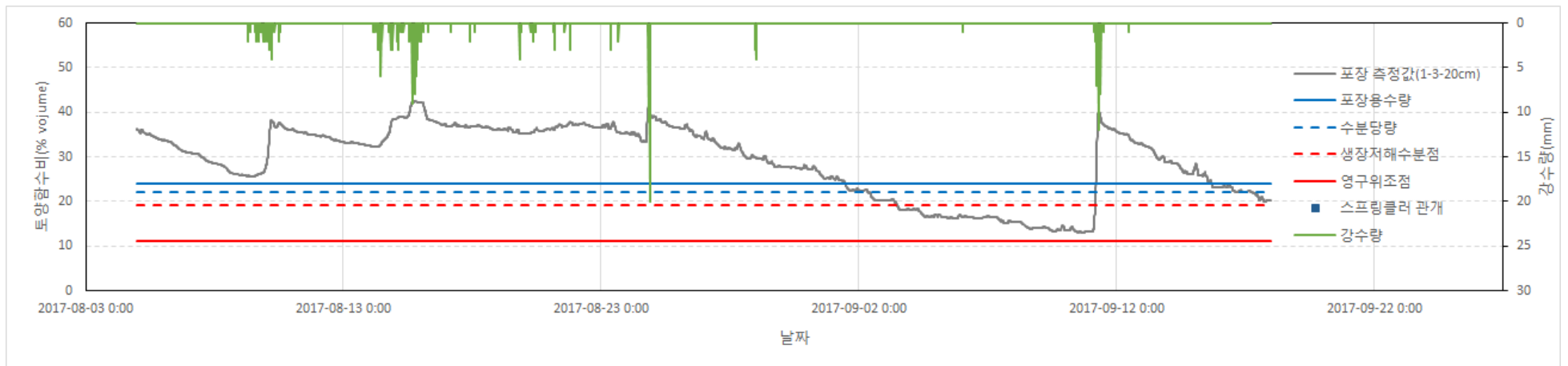


그림 2.3.60 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-3-20cm

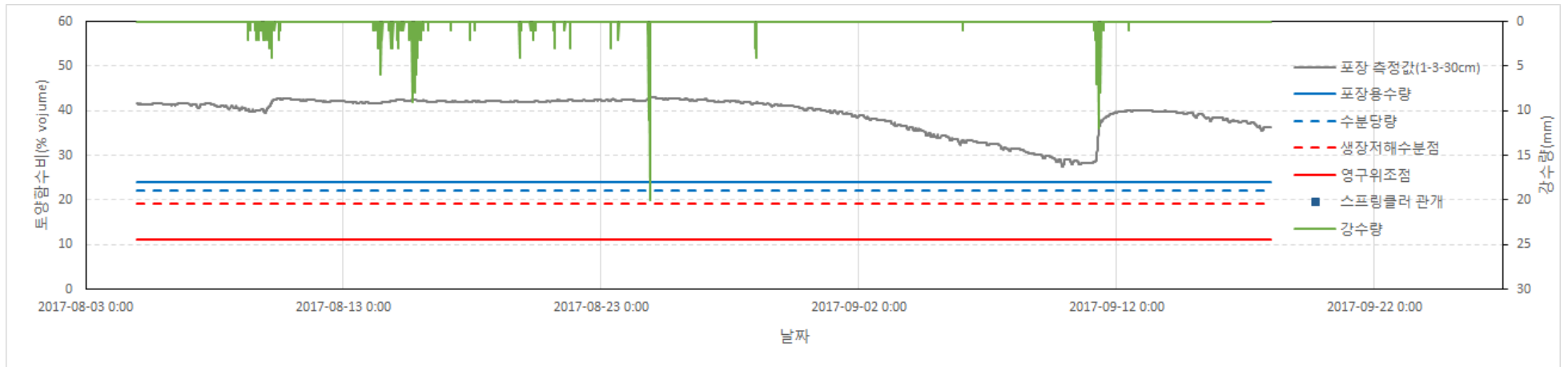


그림 2.3.61 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-3-30cm

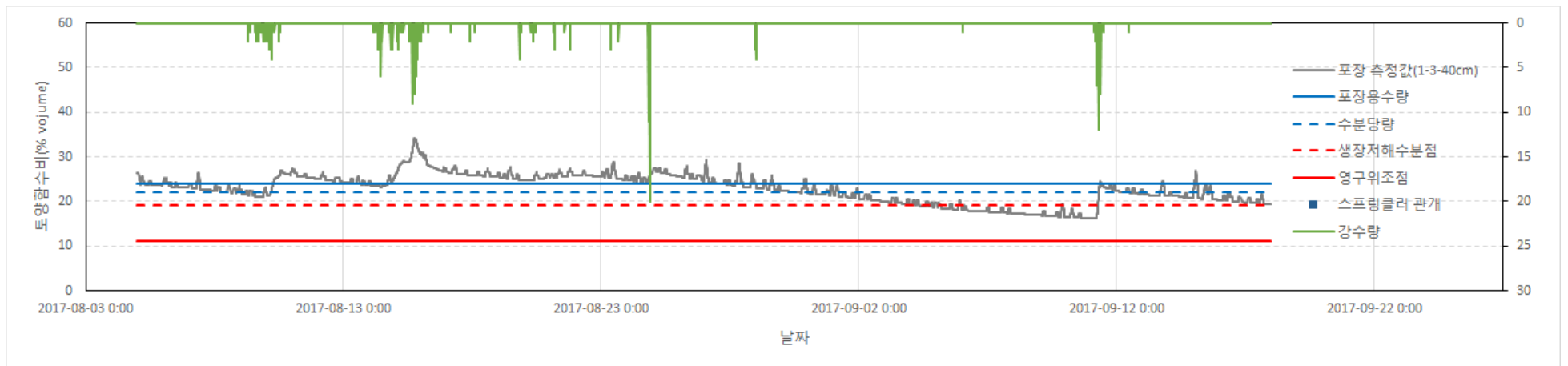


그림 2.3.62 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-3-40cm

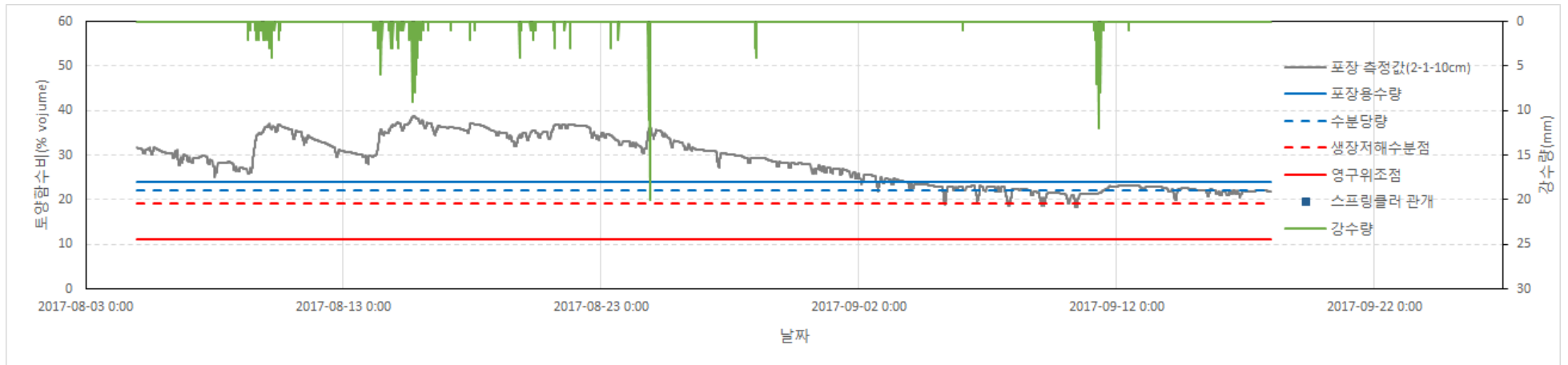


그림 2.3.63 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-1-10cm

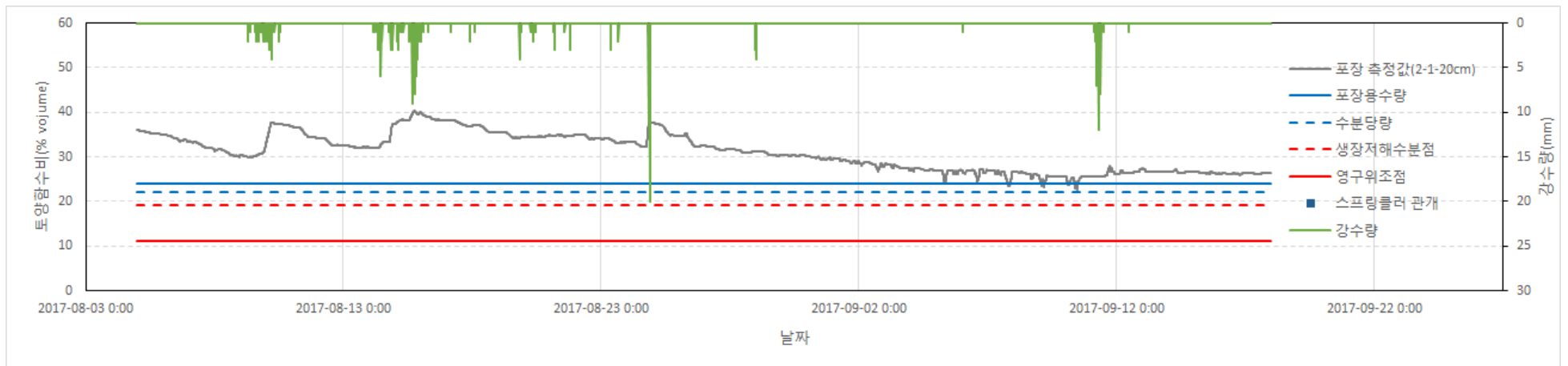


그림 2.3.64 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-1-20cm

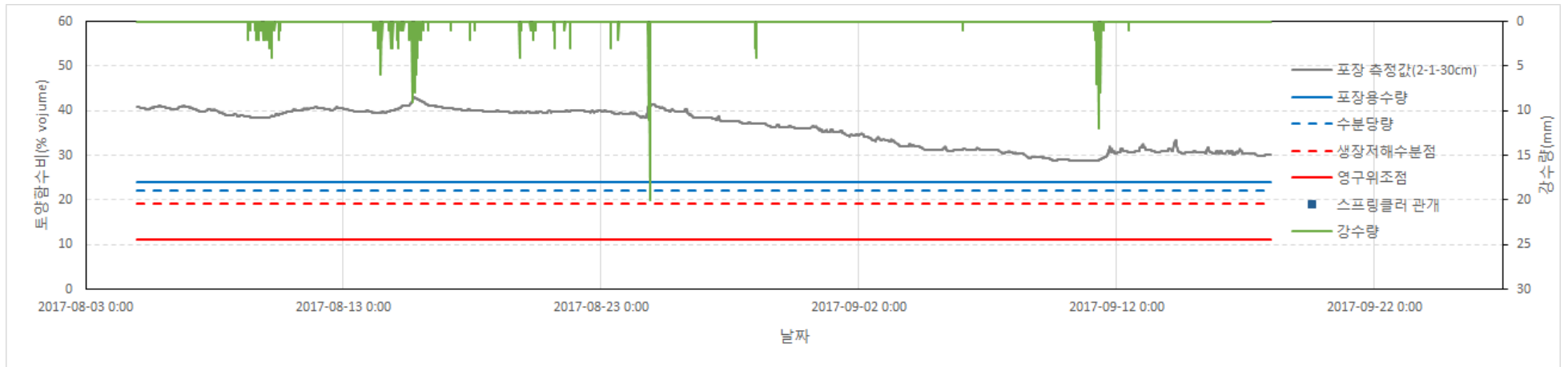


그림 2.3.65 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-1-30cm

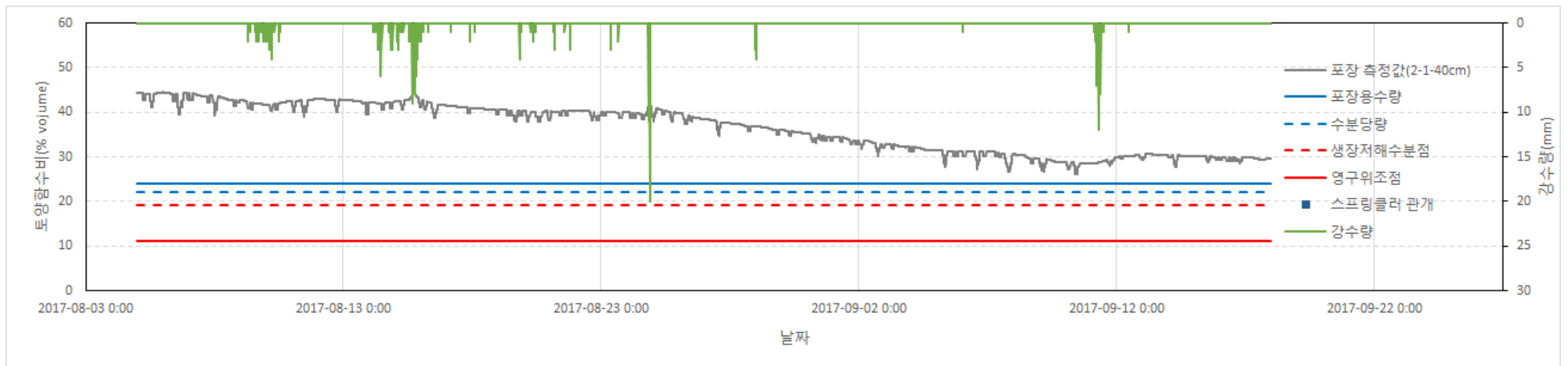


그림 2.3.66 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-1-40cm

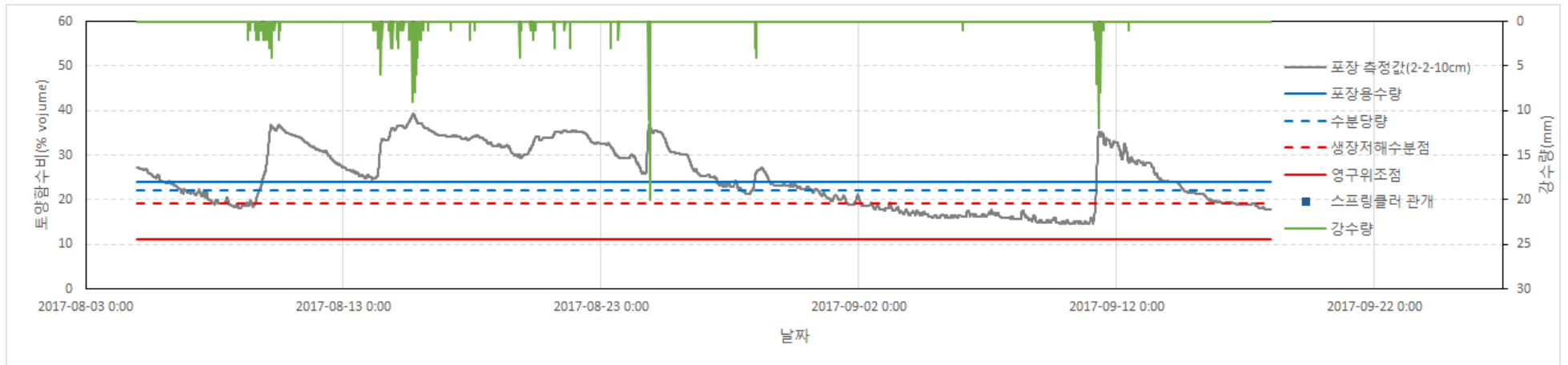


그림 2.3.67 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-2-10cm

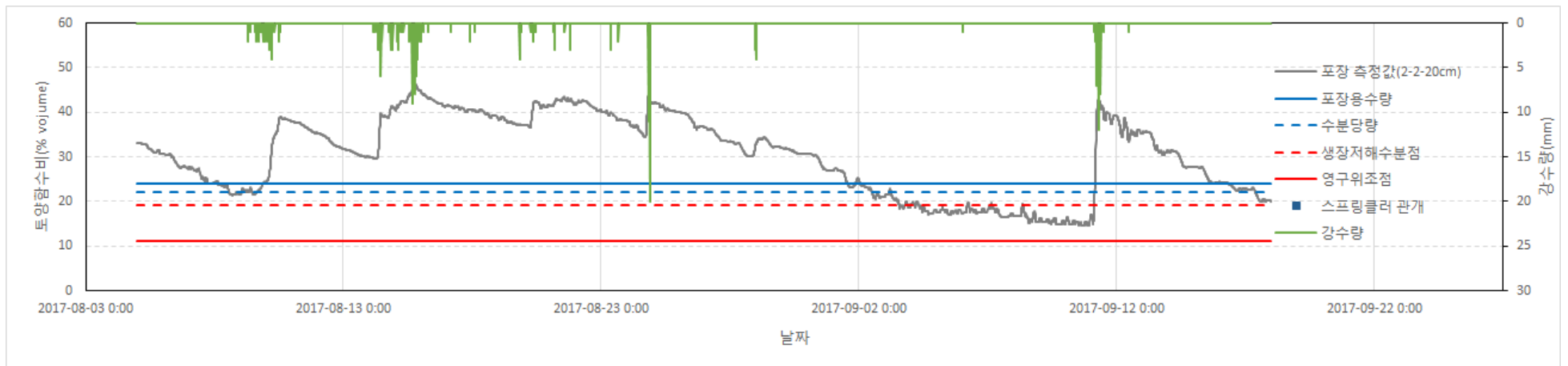


그림 2.3.68 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-2-20cm

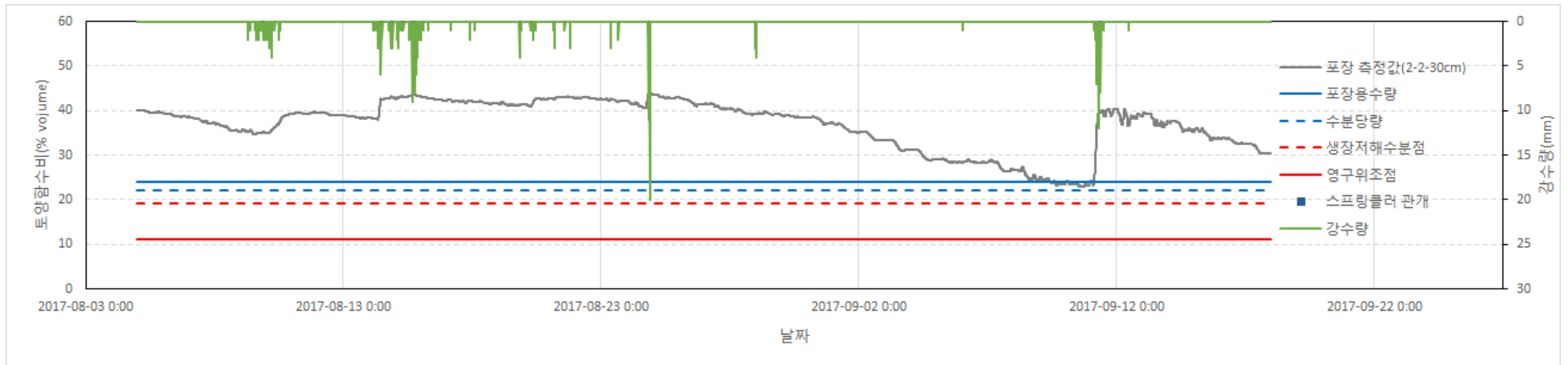


그림 2.3.69 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-2-30cm

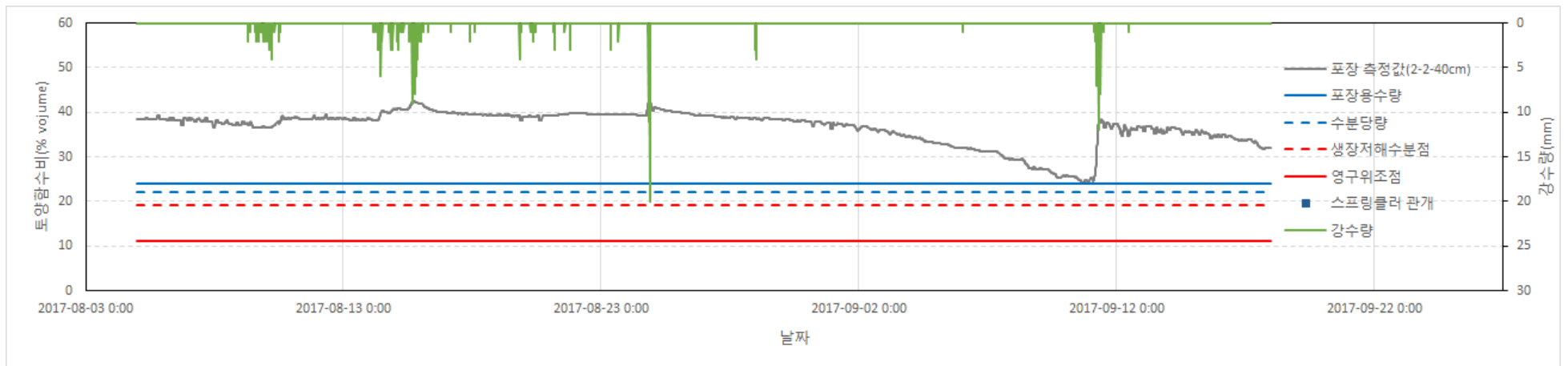


그림 2.3.70 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-2-40cm

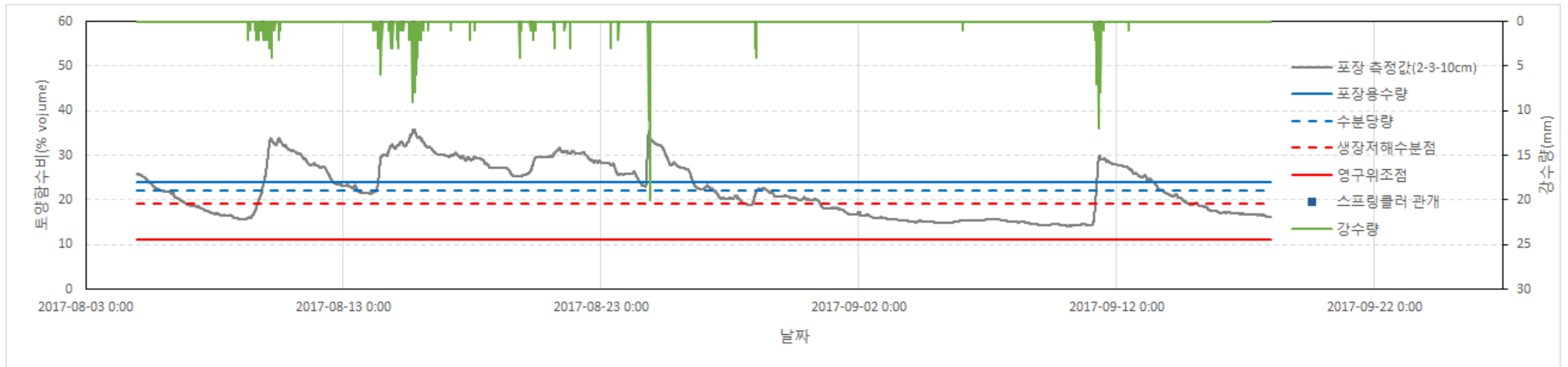


그림 2.3.71 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-3-10cm

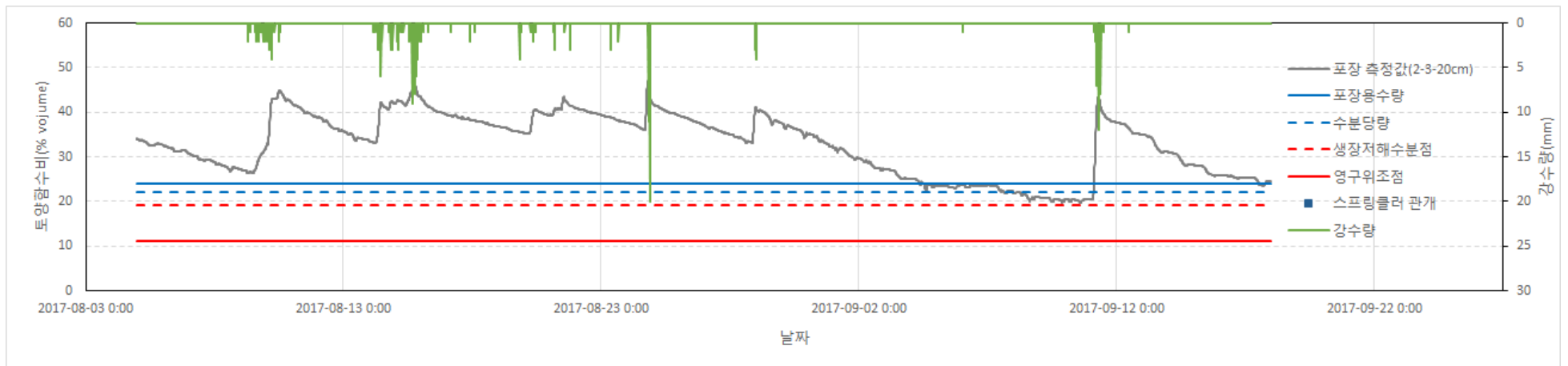


그림 2.3.72 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-3-20cm

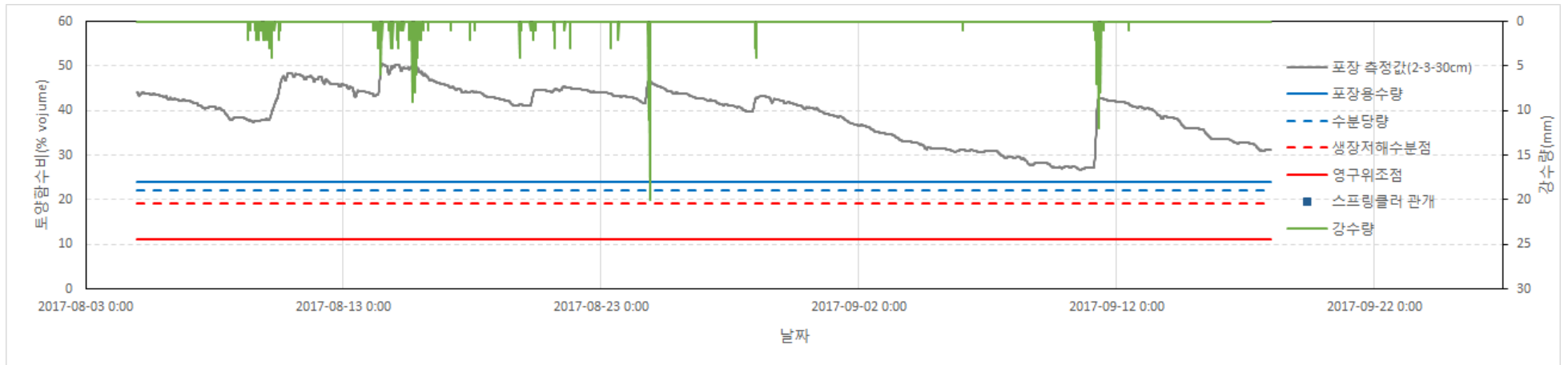


그림 2.3.73 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-3-30cm

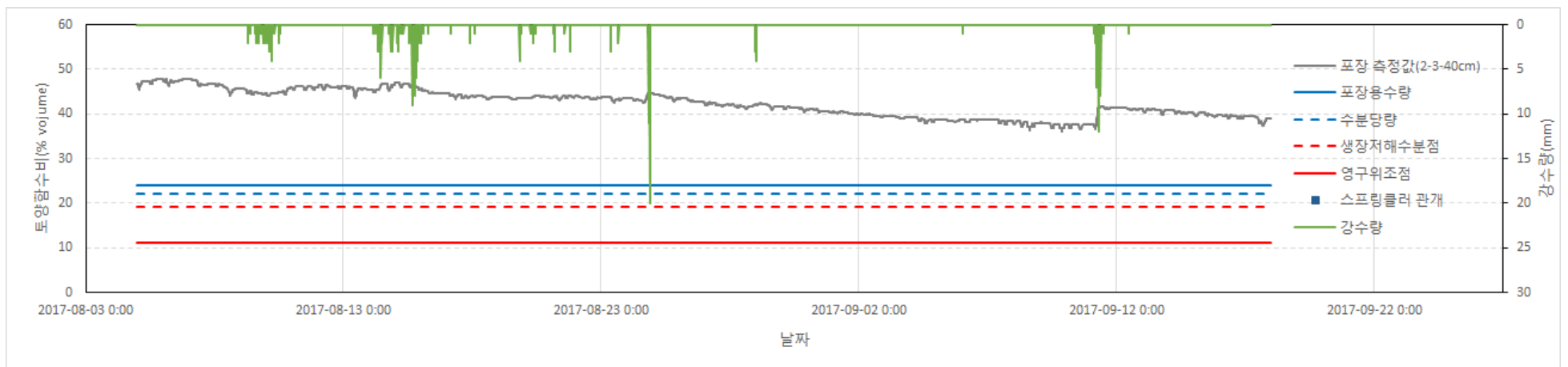


그림 2.3.74 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-3-40cm



그림 2.3.75 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-1-10cm

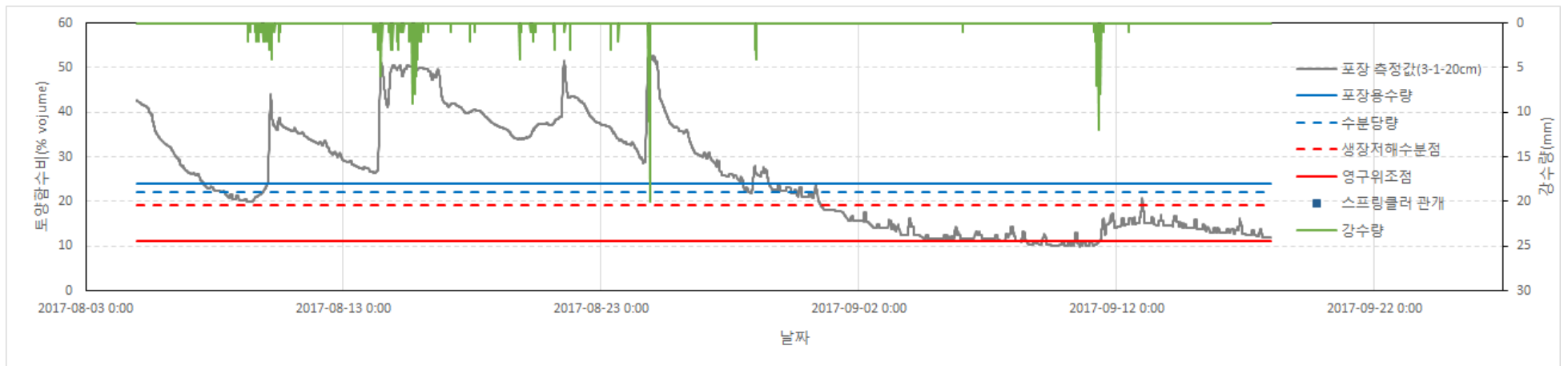


그림 2.3.76 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-1-20cm

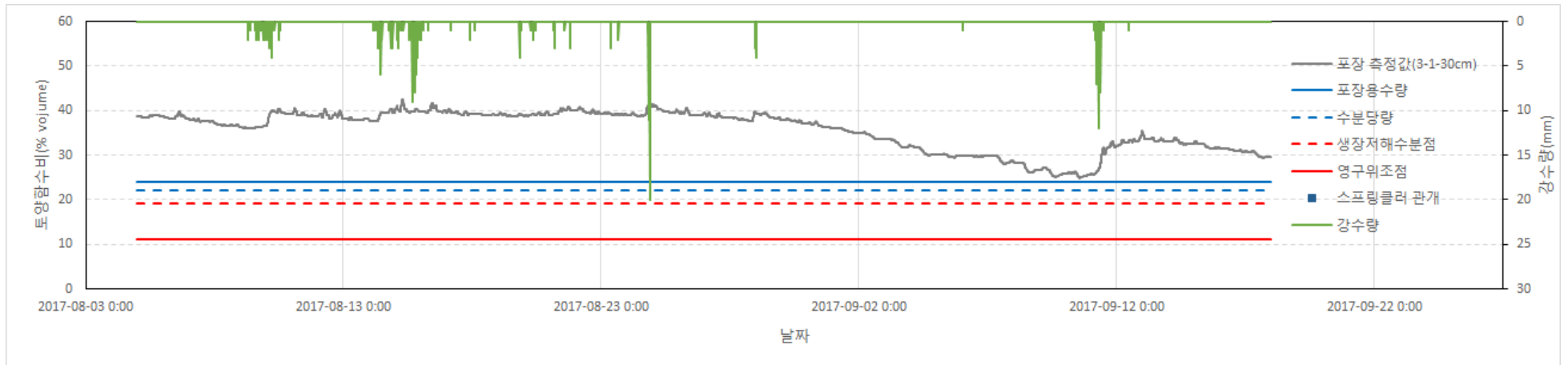


그림 2.3.77 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-1-30cm

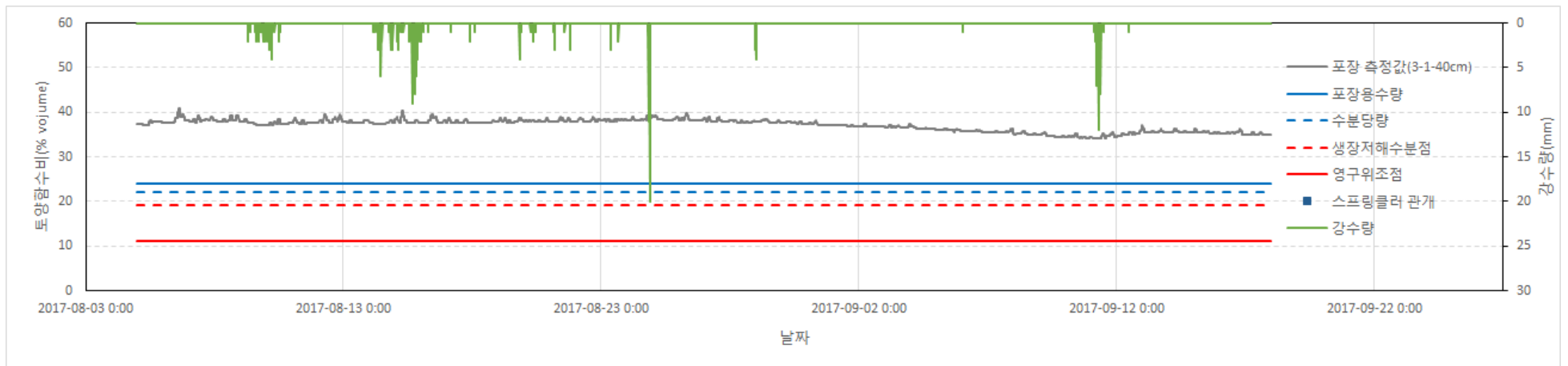


그림 2.3.78 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-1-40cm

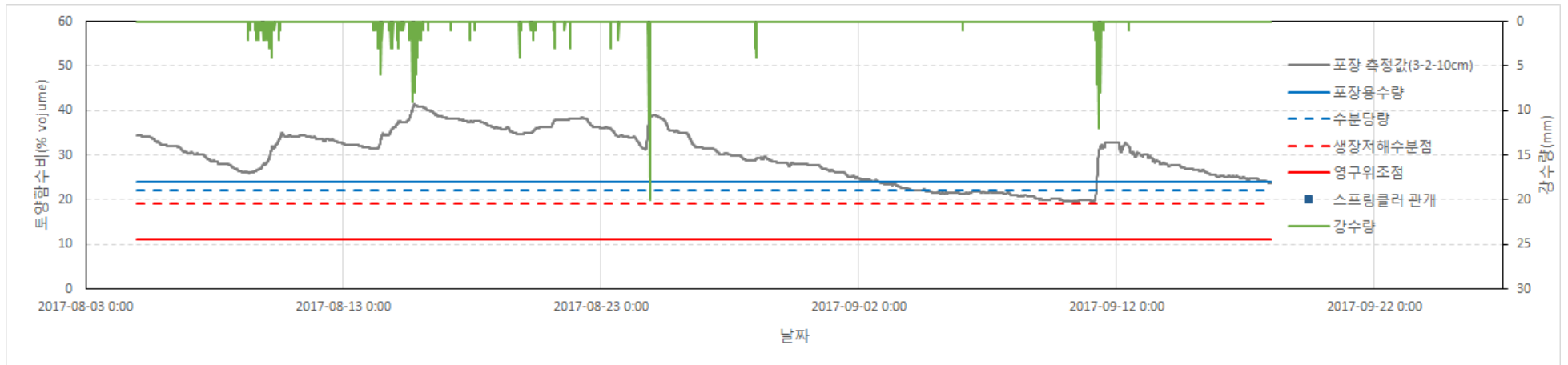


그림 2.3.79 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-2-10cm

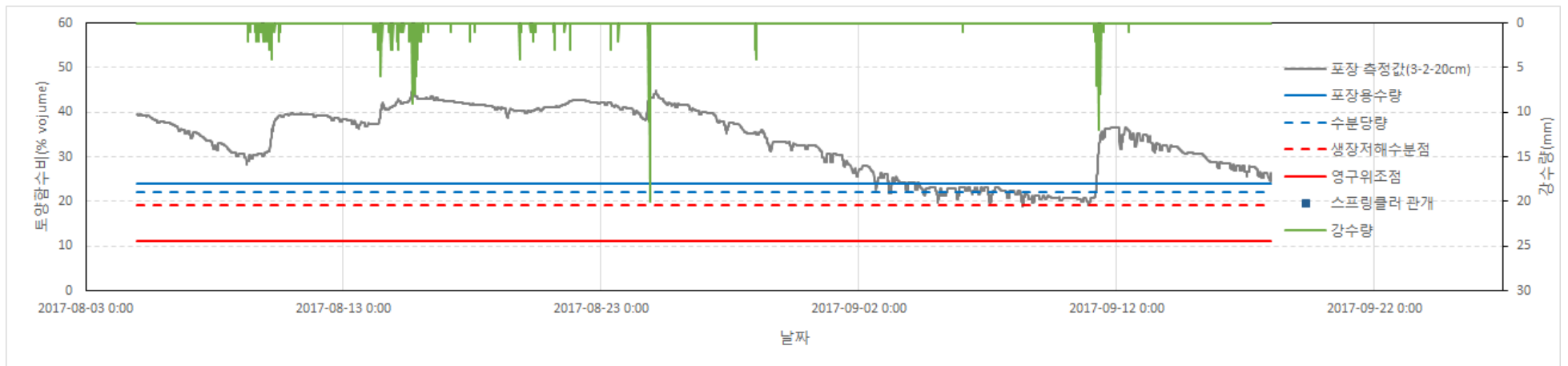


그림 2.3.80 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-2-20cm

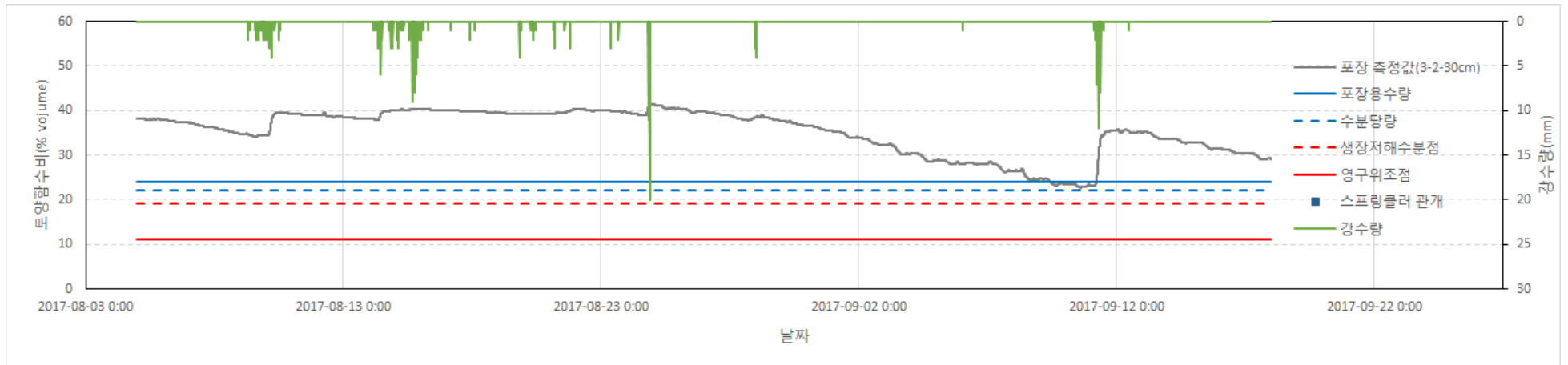


그림 2.3.81 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-2-30cm

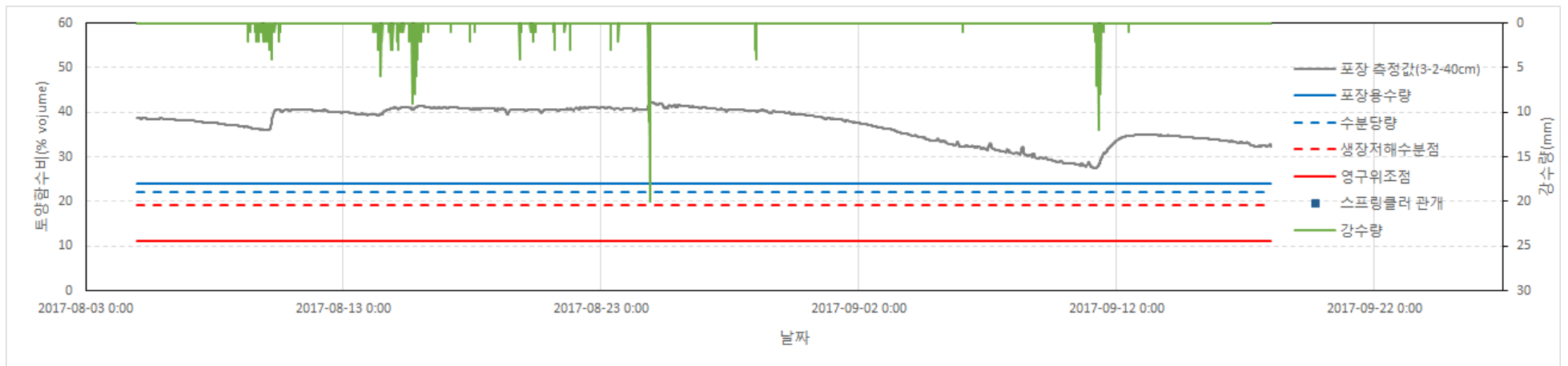


그림 2.3.82 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-2-40cm

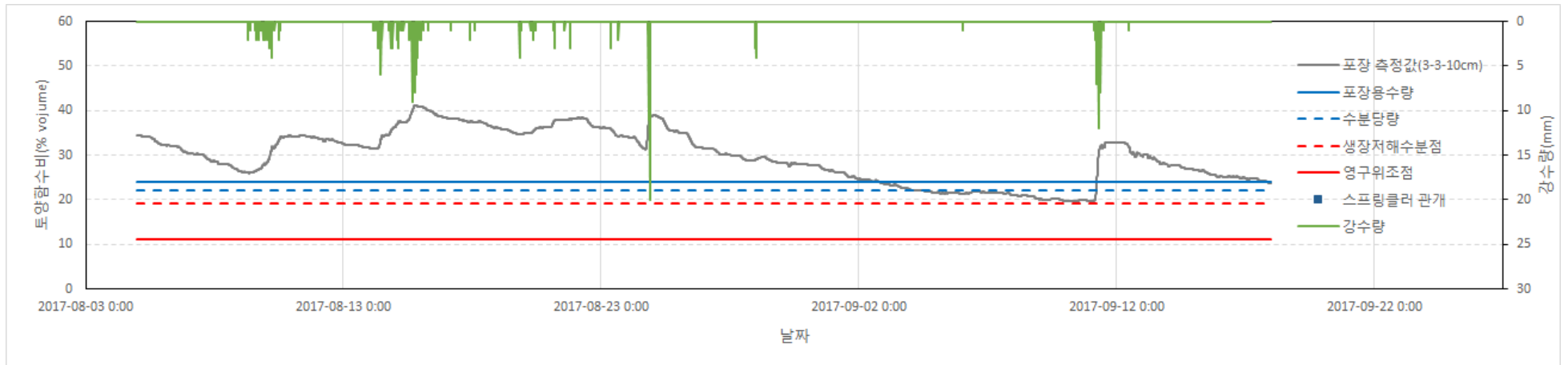


그림 2.3.83 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-3-10cm

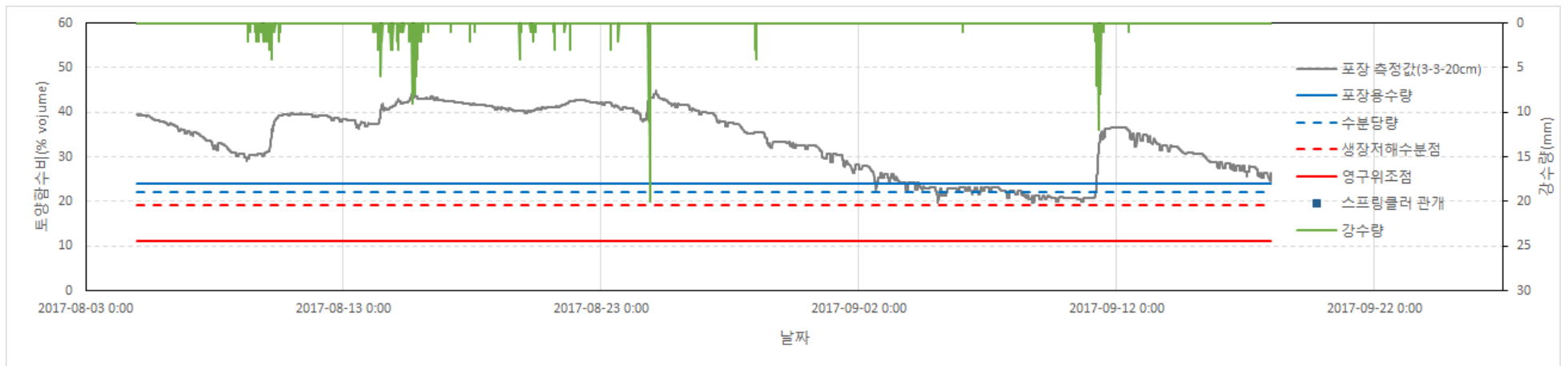


그림 2.3.84 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-3-20cm

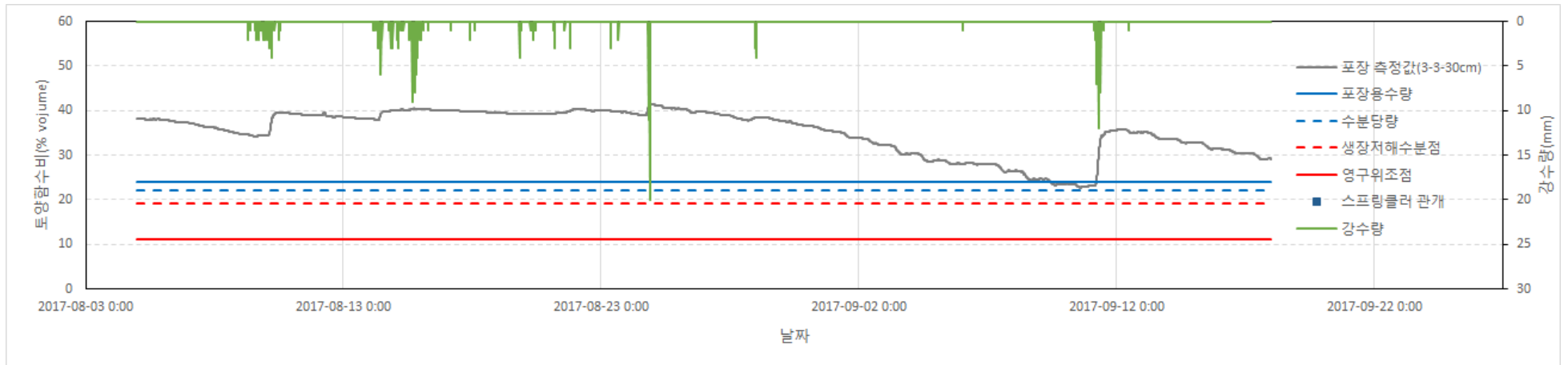


그림 2.3.85 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-3-30cm

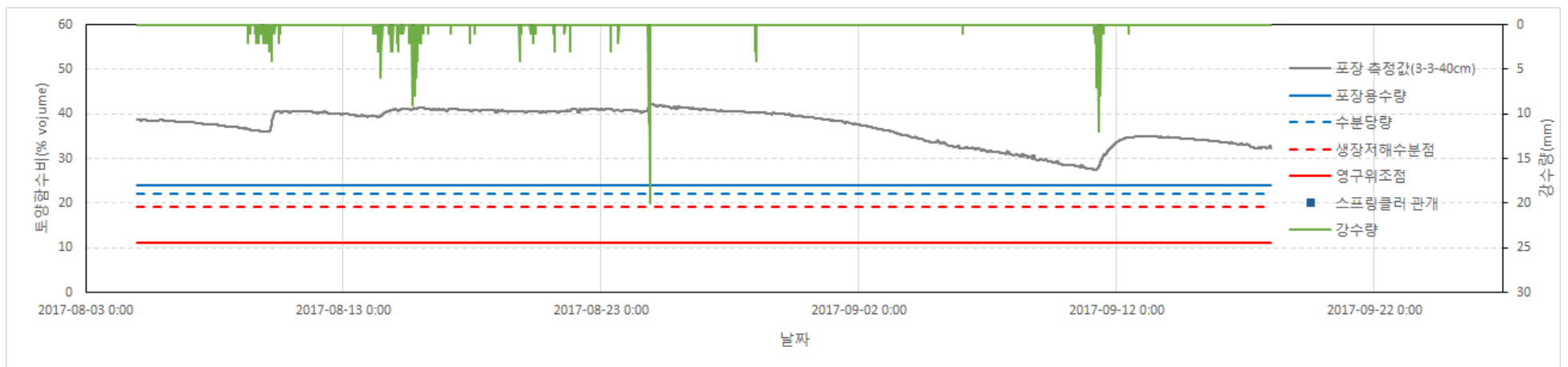


그림 2.3.86 2017년 콩 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-3-40cm

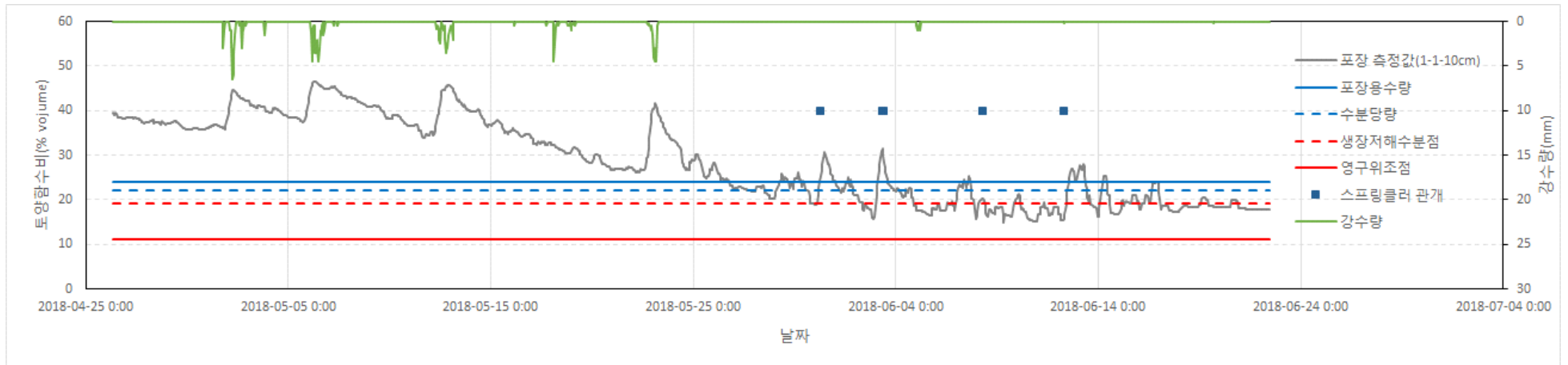


그림 2.3.87 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-1-10cm

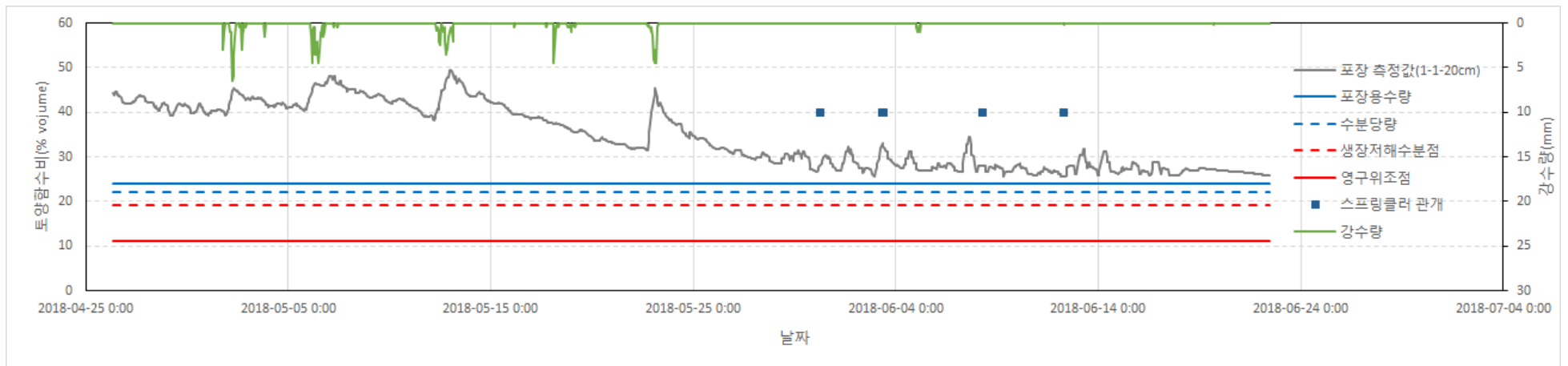


그림 2.3.88 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-1-20cm

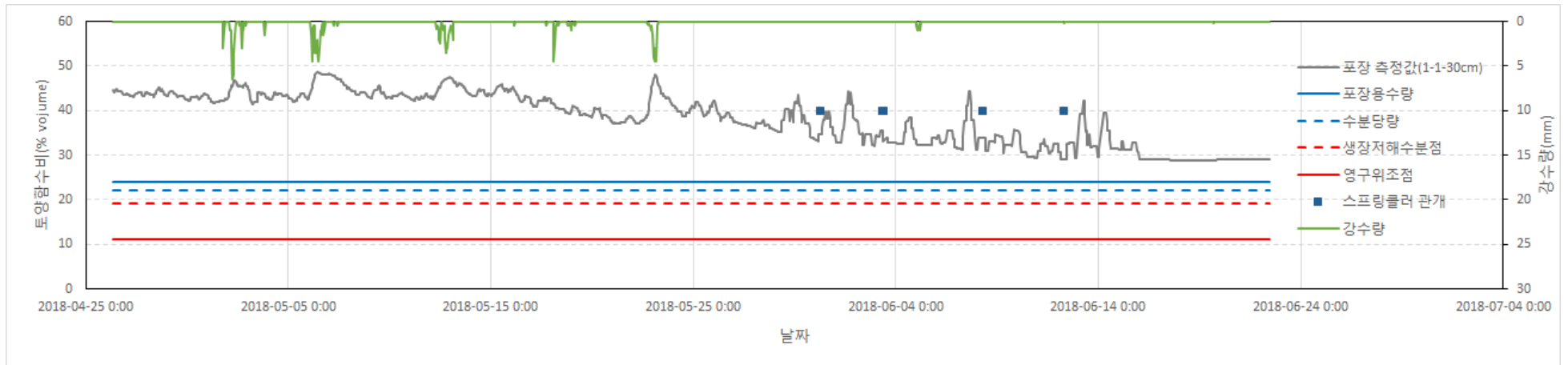


그림 2.3.89 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-1-30cm

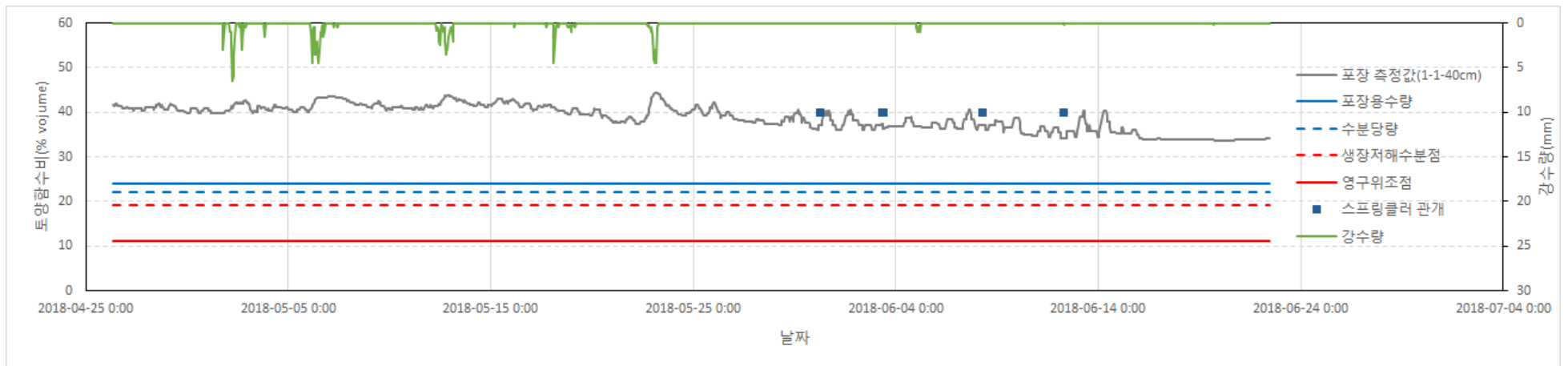


그림 2.3.90 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-1-40cm

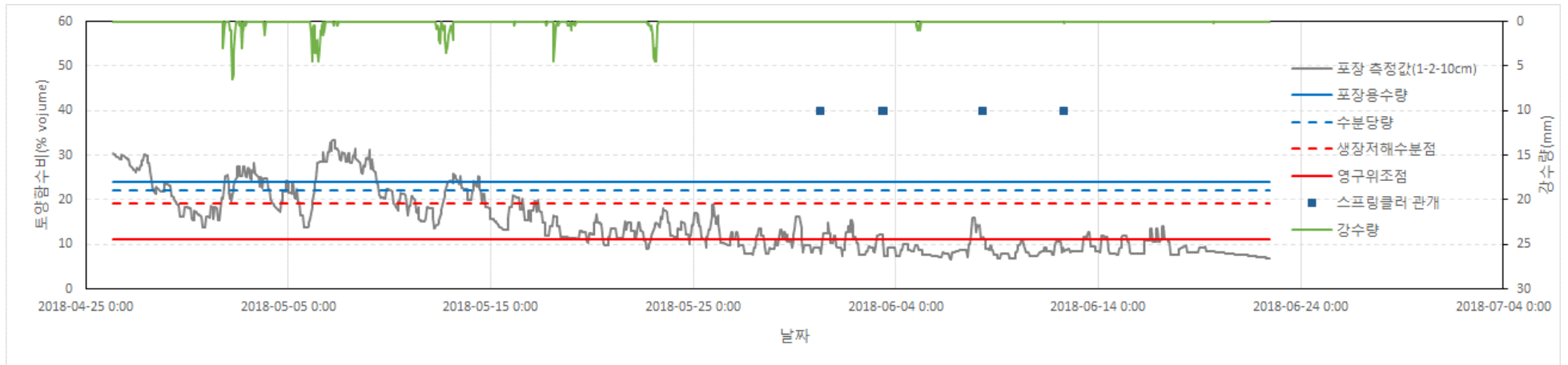


그림 2.3.91 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-2-10cm

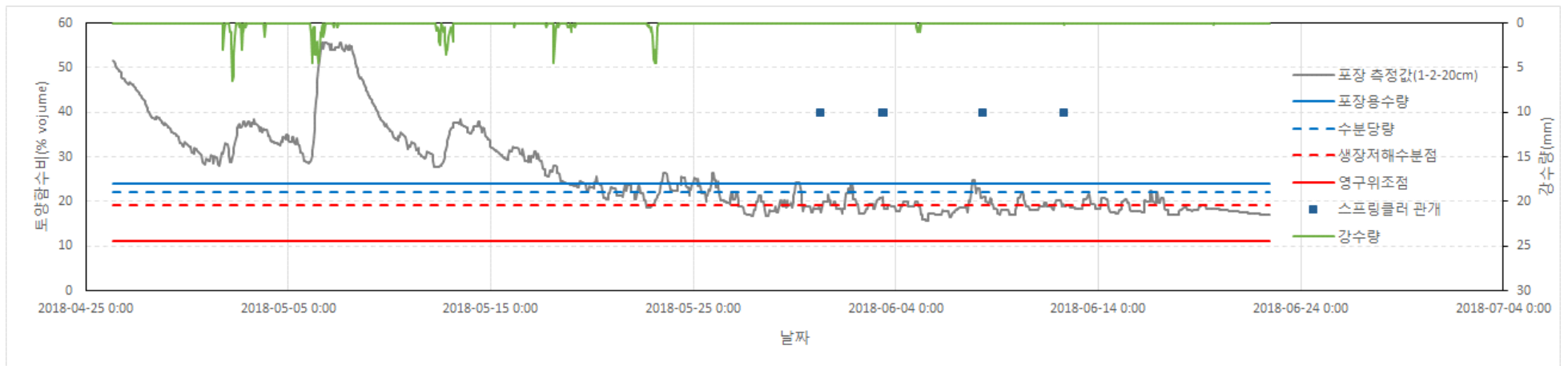


그림 2.3.92 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-2-20cm

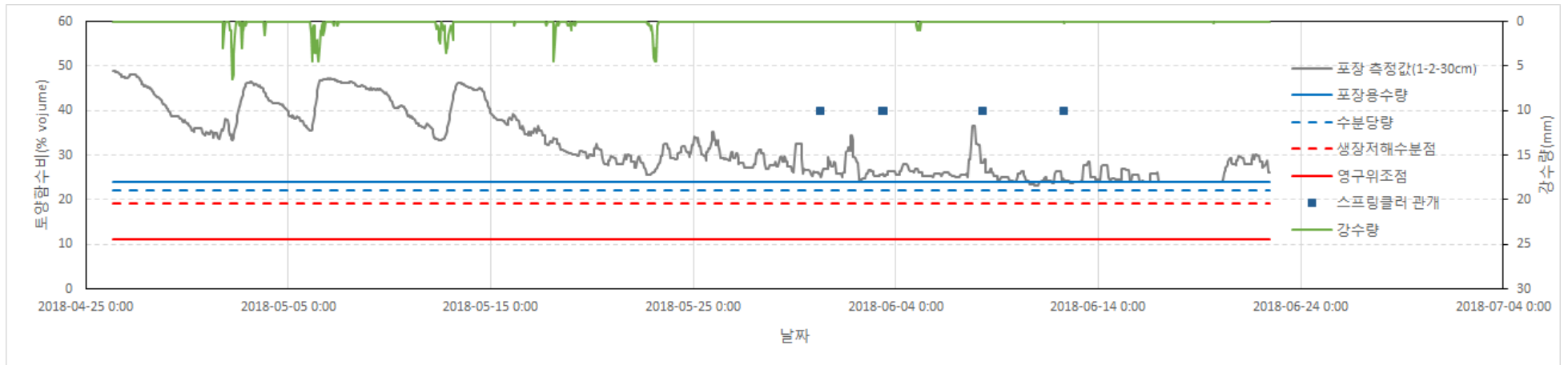


그림 2.3.93 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-2-30cm

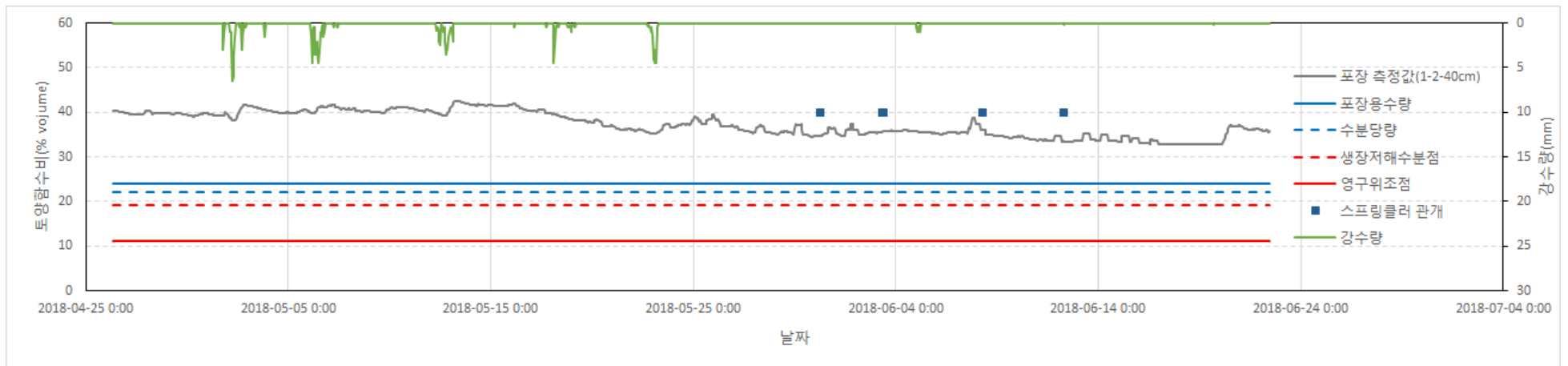


그림 2.3.94 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-2-40cm

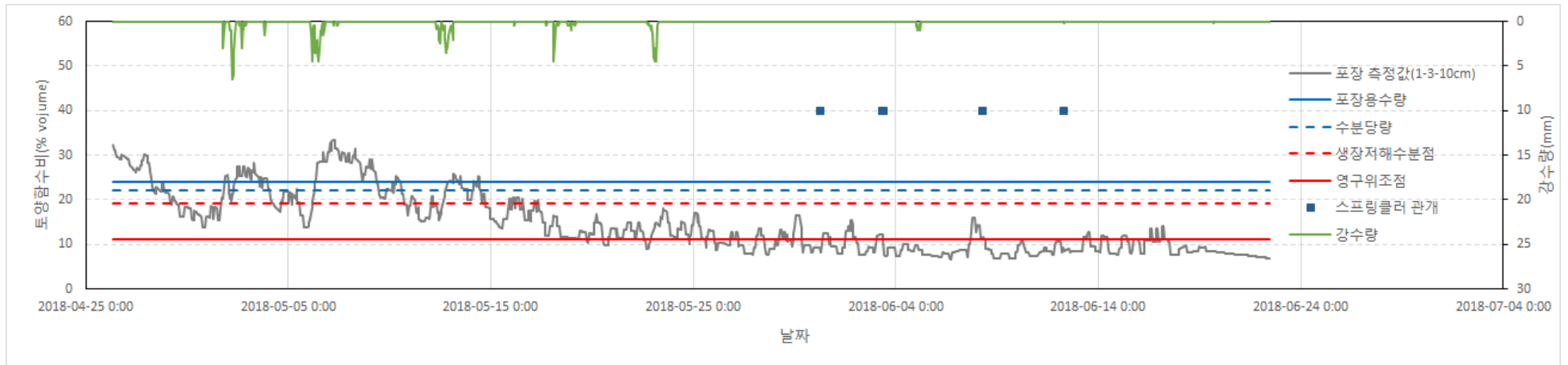


그림 2.3.95 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-3-10cm

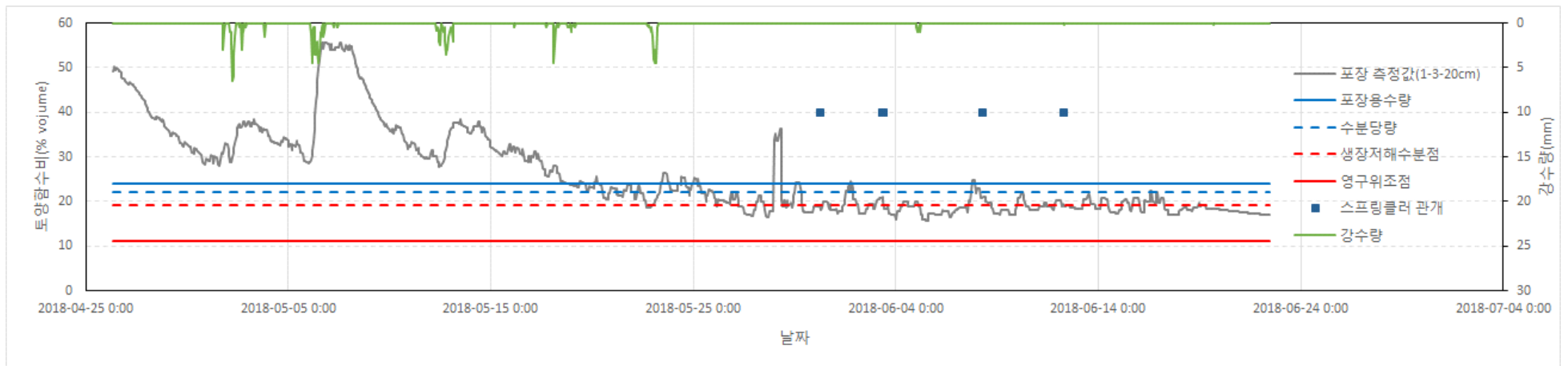


그림 2.3.96 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-3-20cm

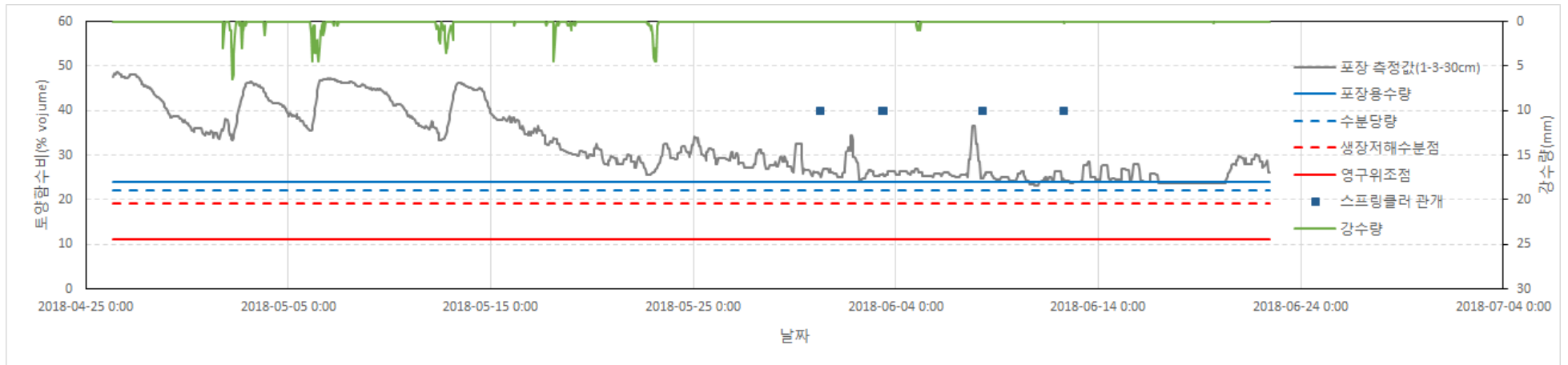


그림 2.3.97 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-3-30cm

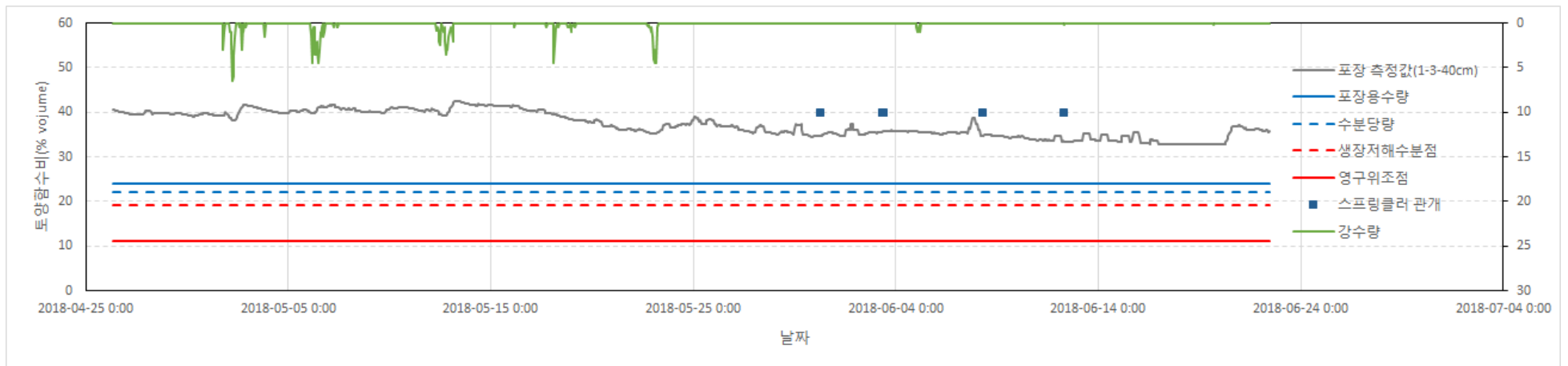


그림 2.3.98 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역1-3-40cm

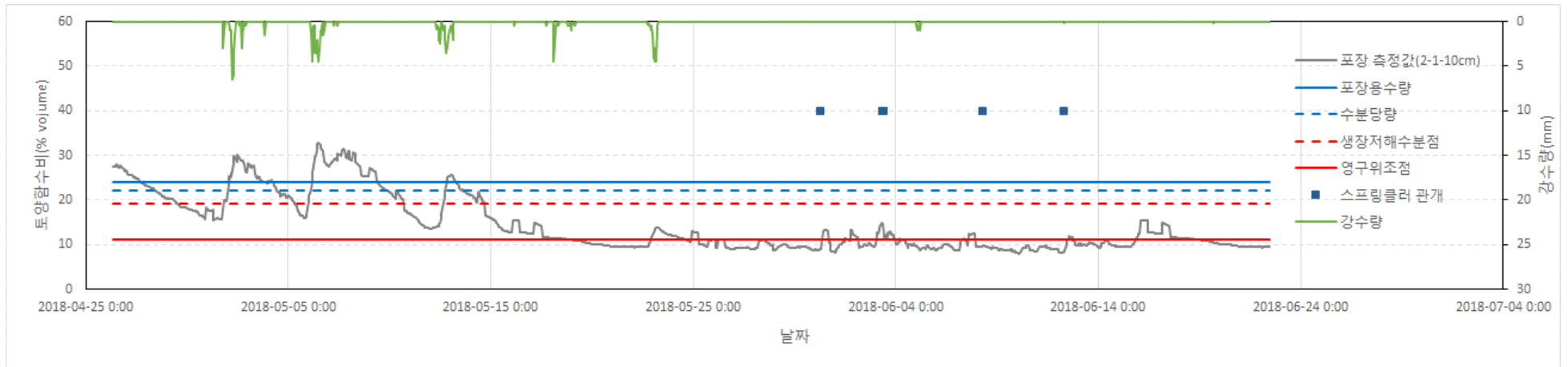


그림 2.3.99 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-1-10cm

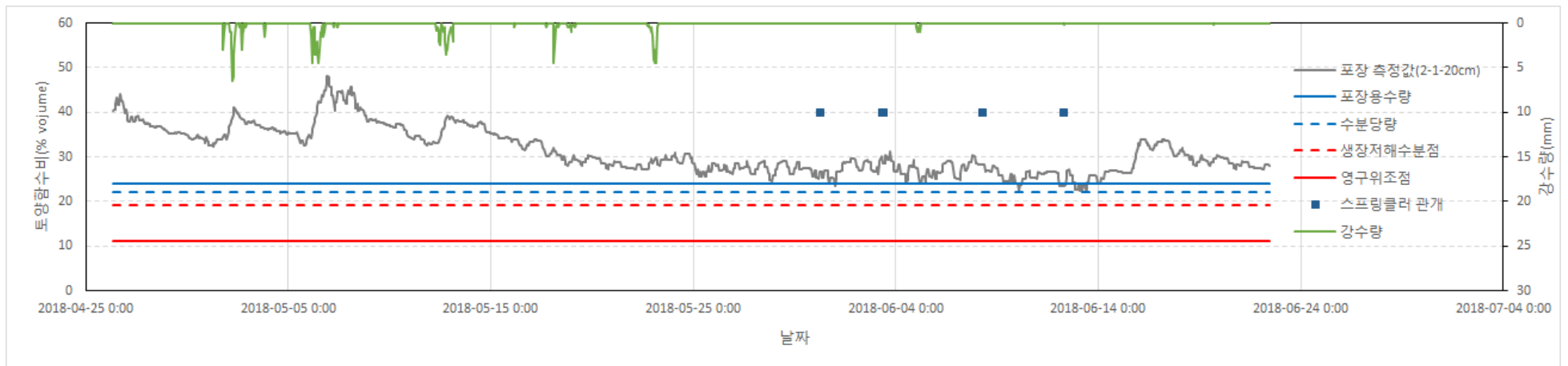


그림 2.3.100 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-1-20cm

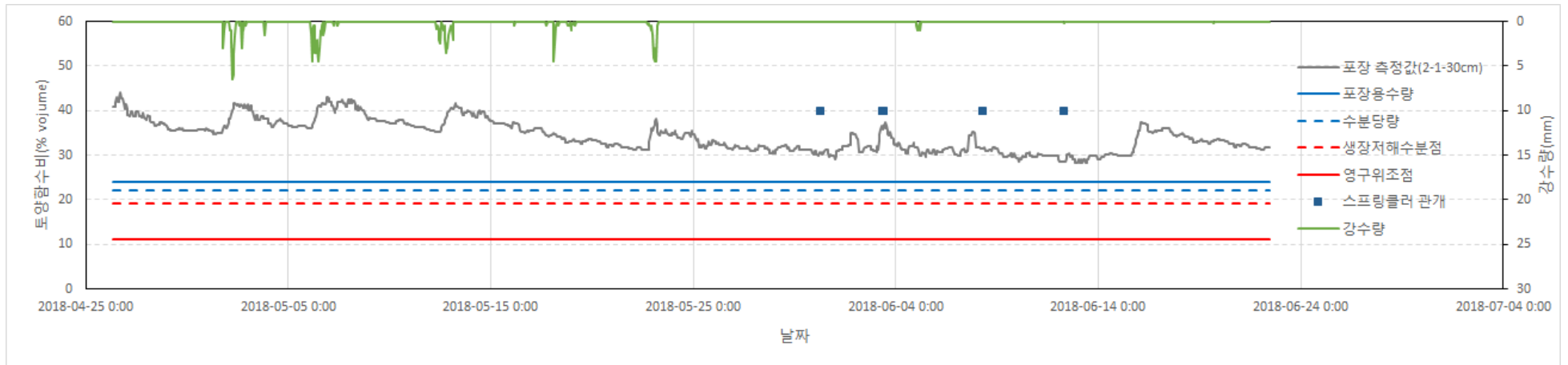


그림 2.3.101 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-1-30cm

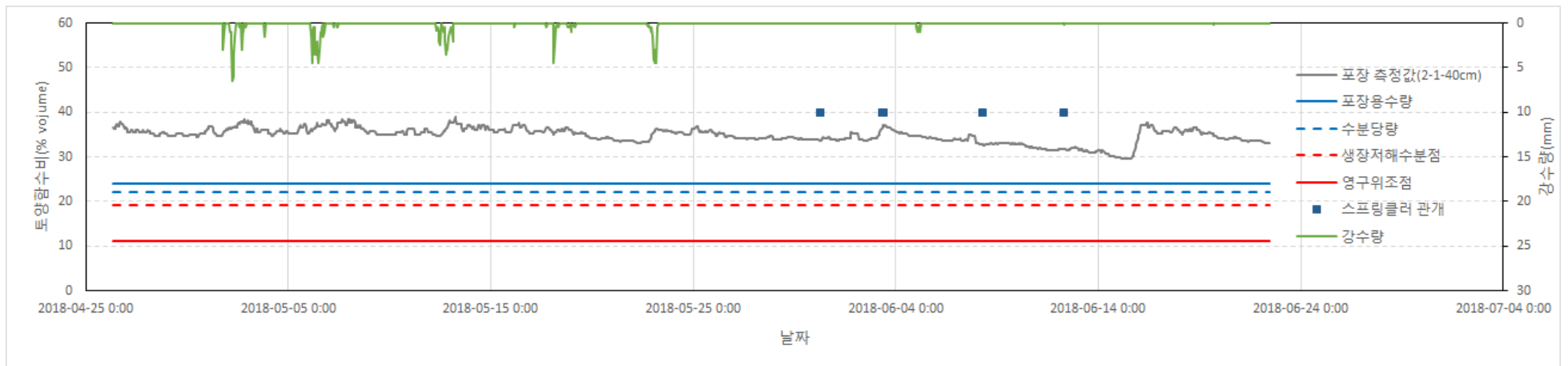


그림 2.3.102 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-1-40cm

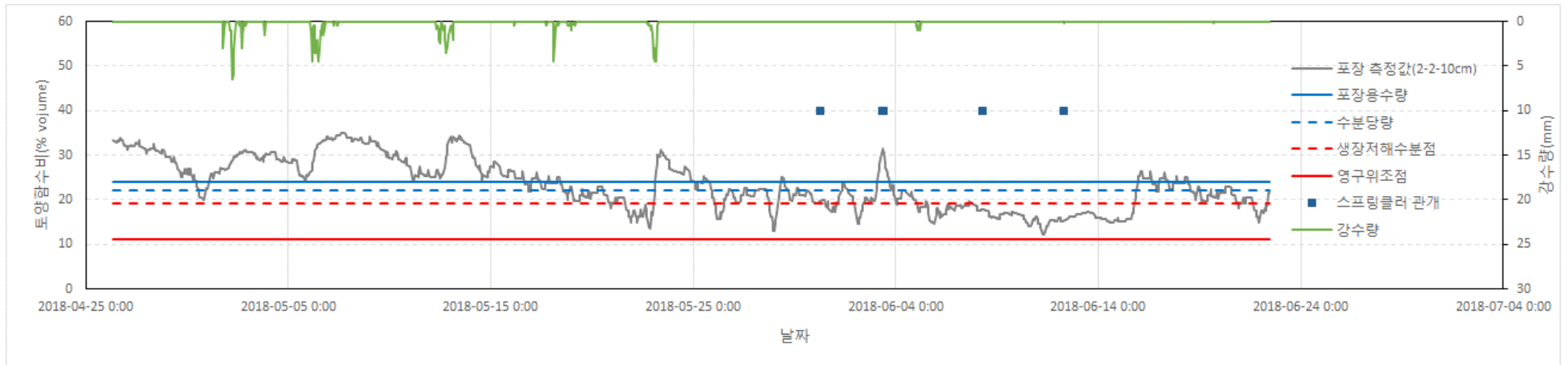


그림 2.3.103 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-2-10cm

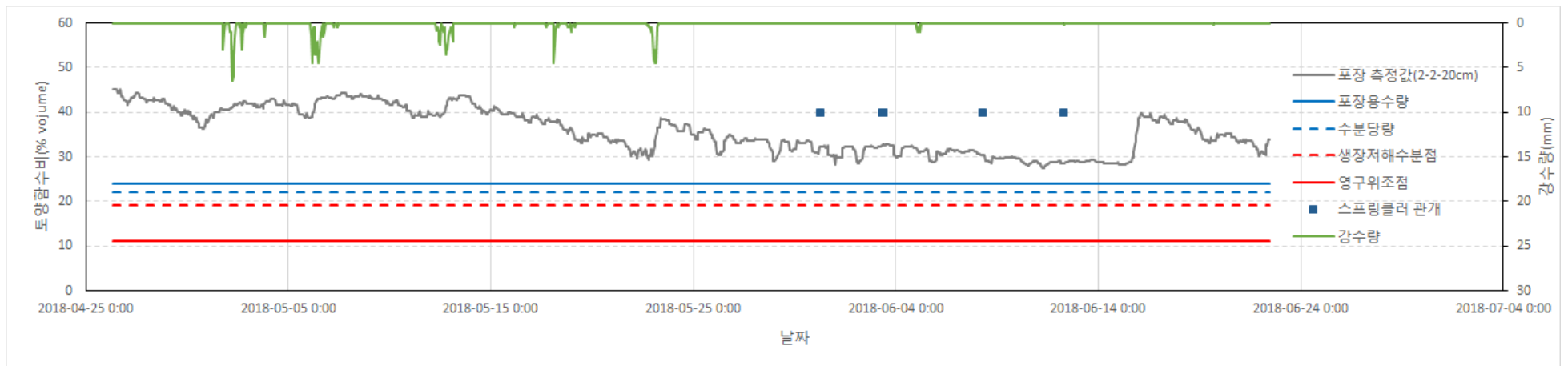


그림 2.3.104 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-2-20cm

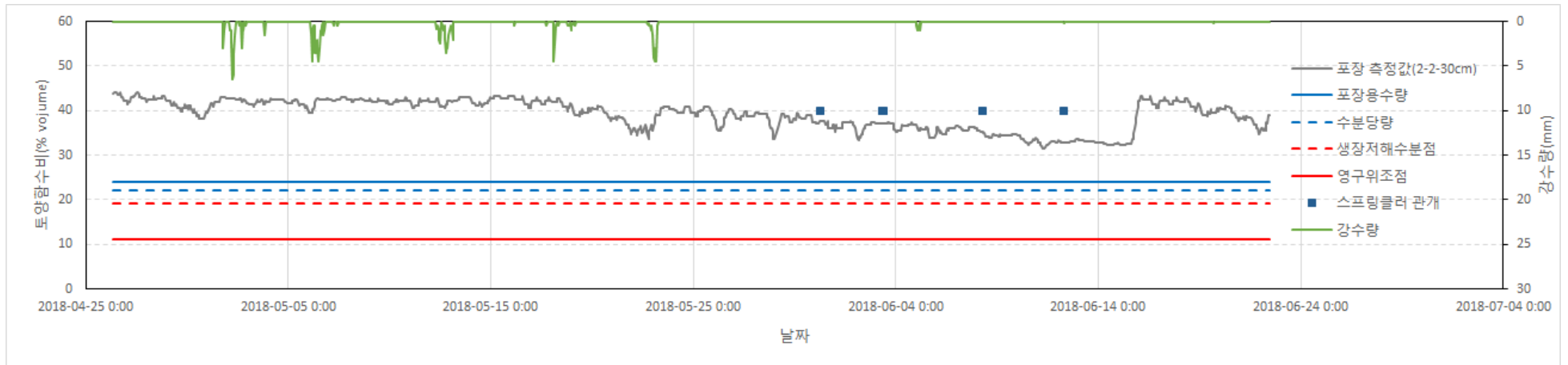


그림 2.3.105 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-2-30cm

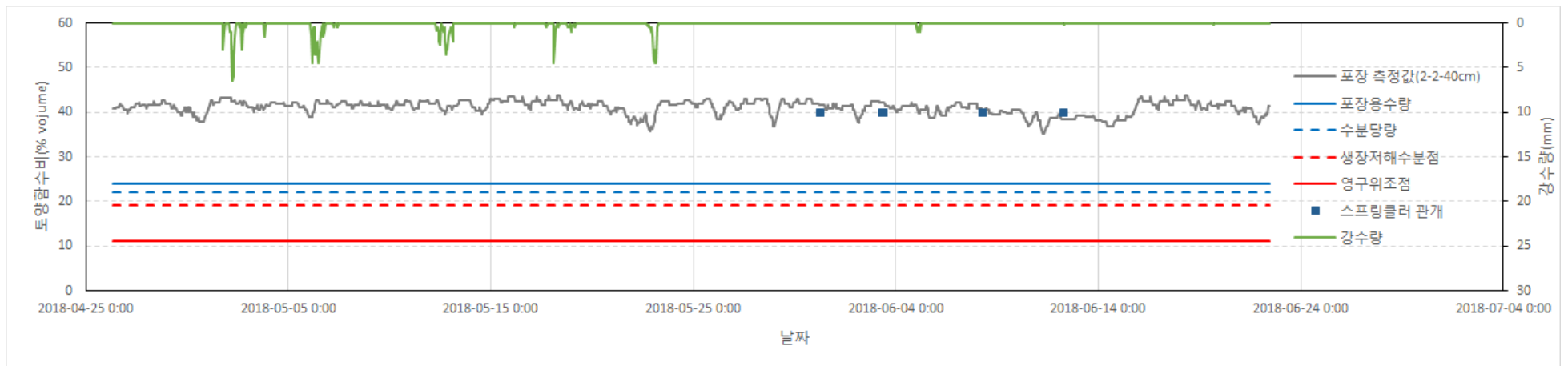


그림 2.3.106 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-2-40cm

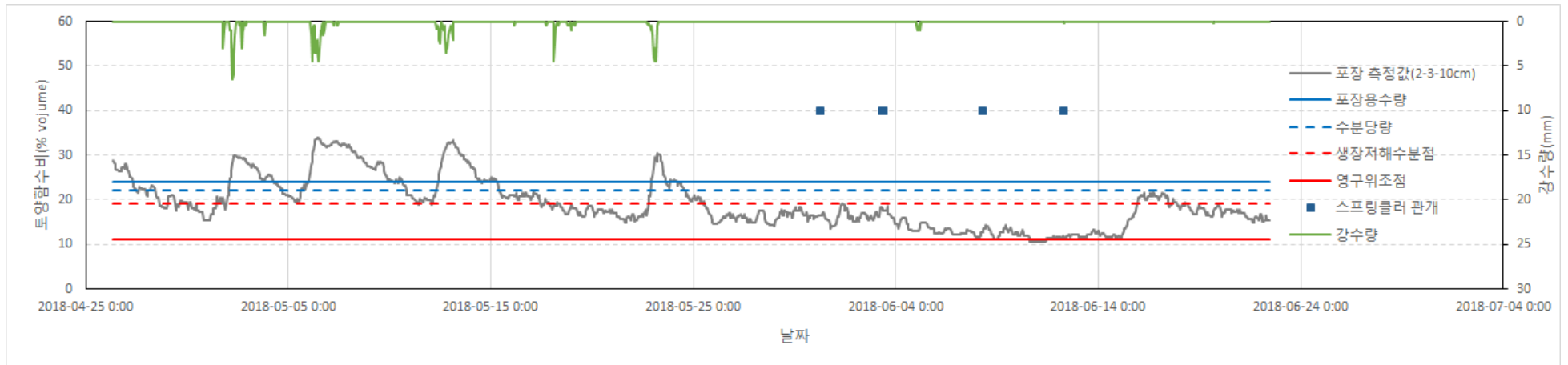


그림 2.3.107 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-3-10cm

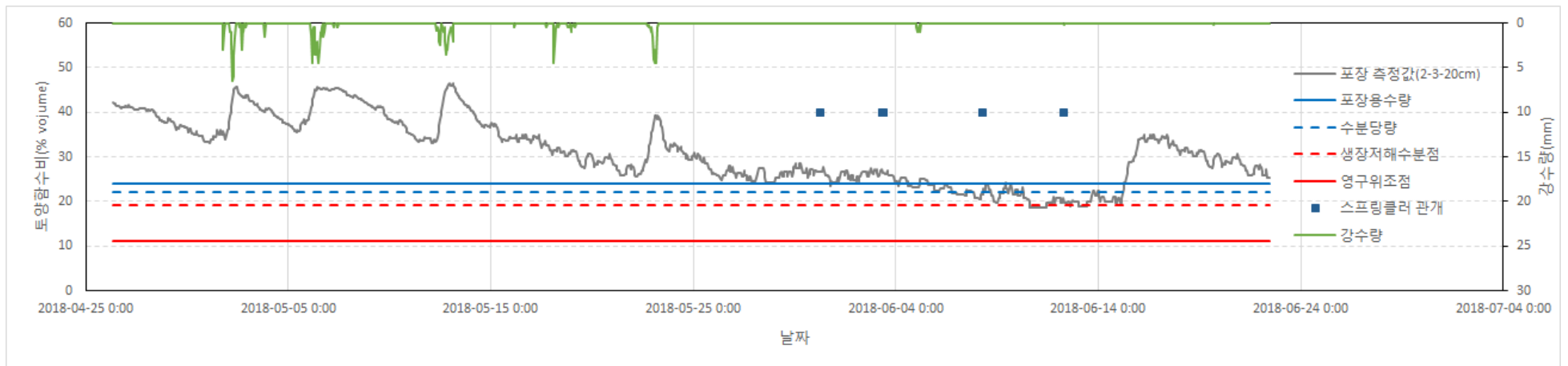


그림 2.3.108 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-3-20cm

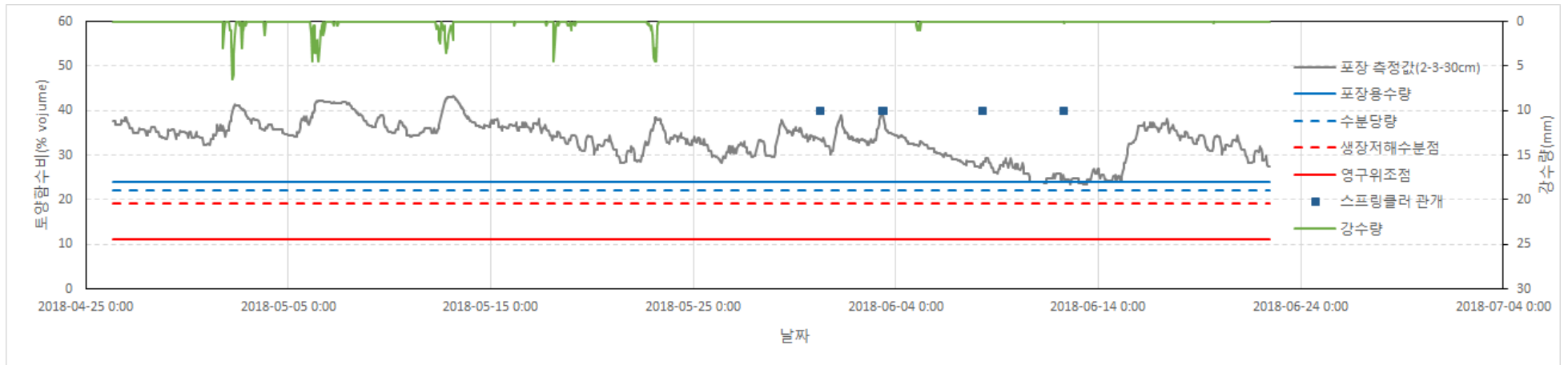


그림 2.3.109 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-3-30cm

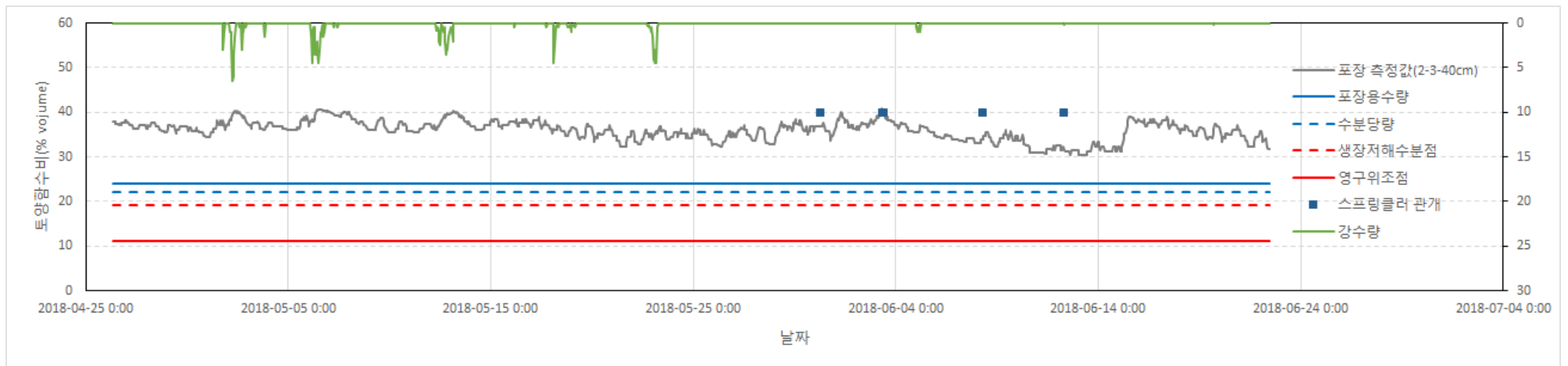


그림 2.3.110 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역2-3-40cm

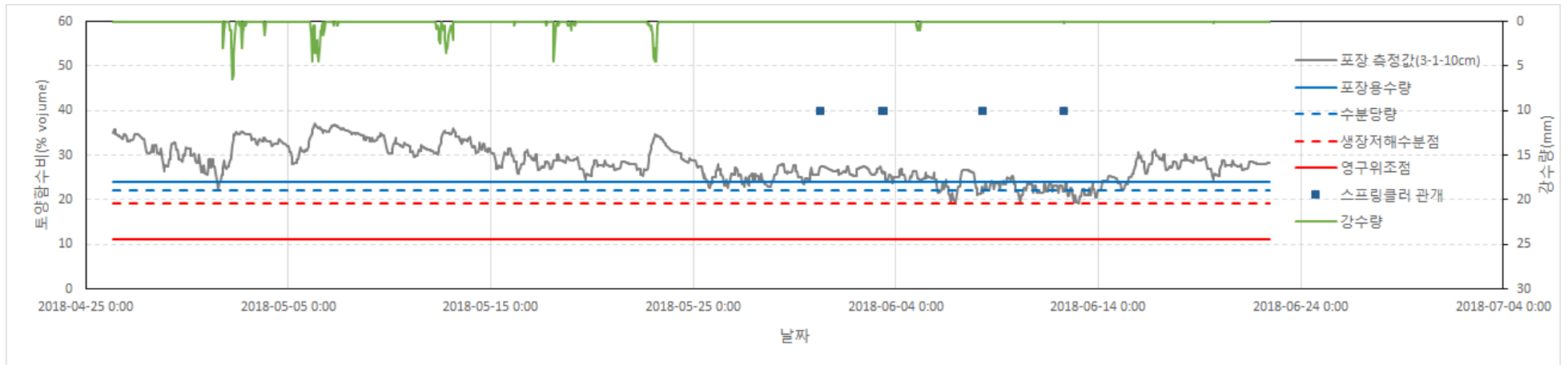


그림 2.3.111 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-1-10cm

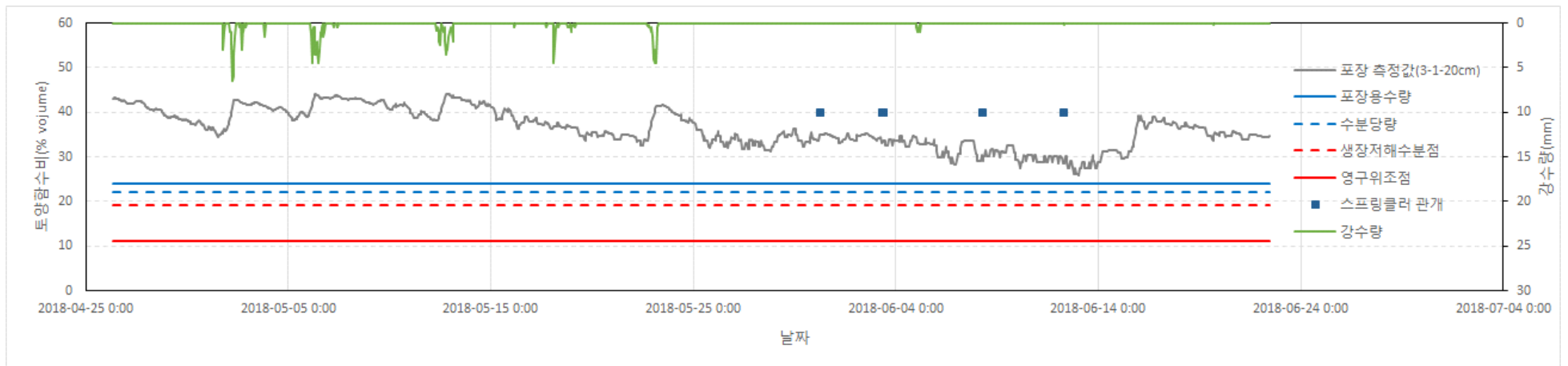


그림 2.3.112 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-1-20cm

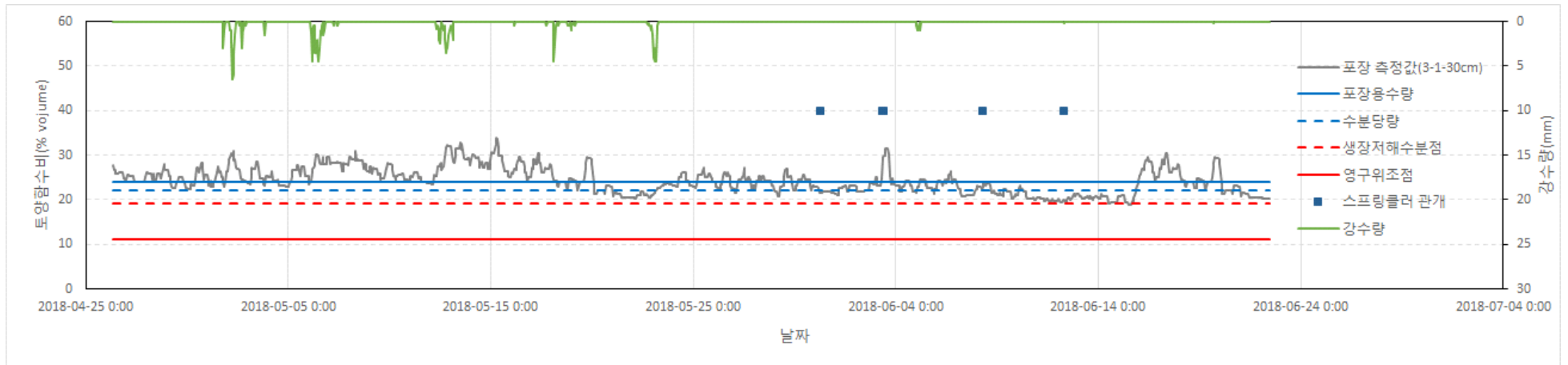


그림 2.3.113 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-1-30cm

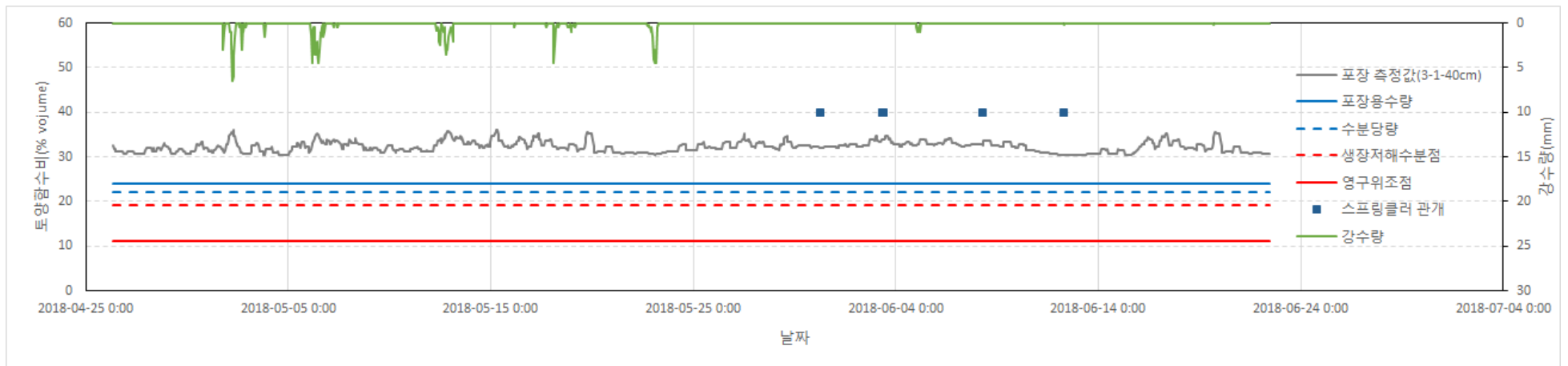


그림 2.3.114 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-1-40cm

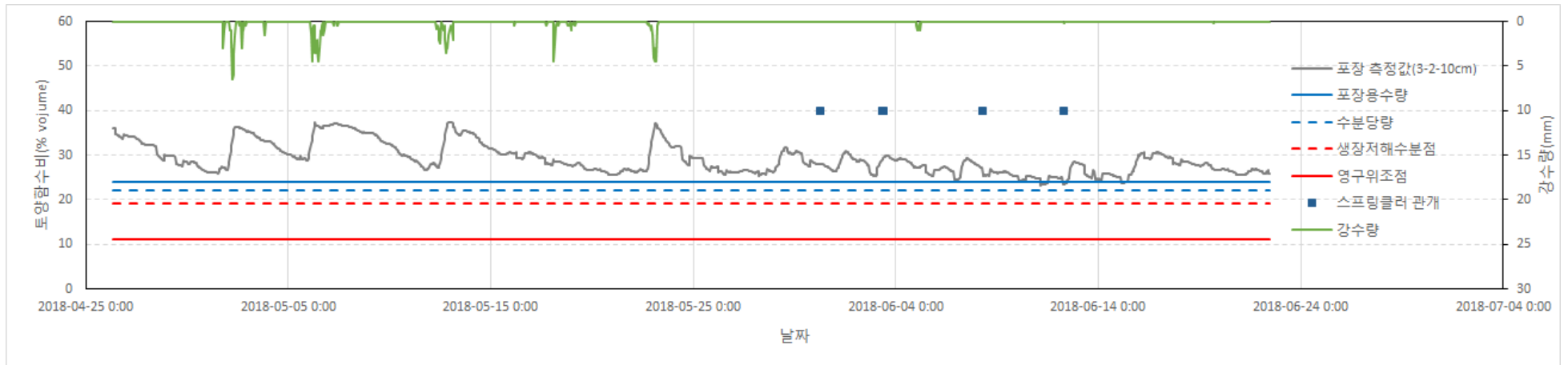


그림 2.3.115 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-2-10cm

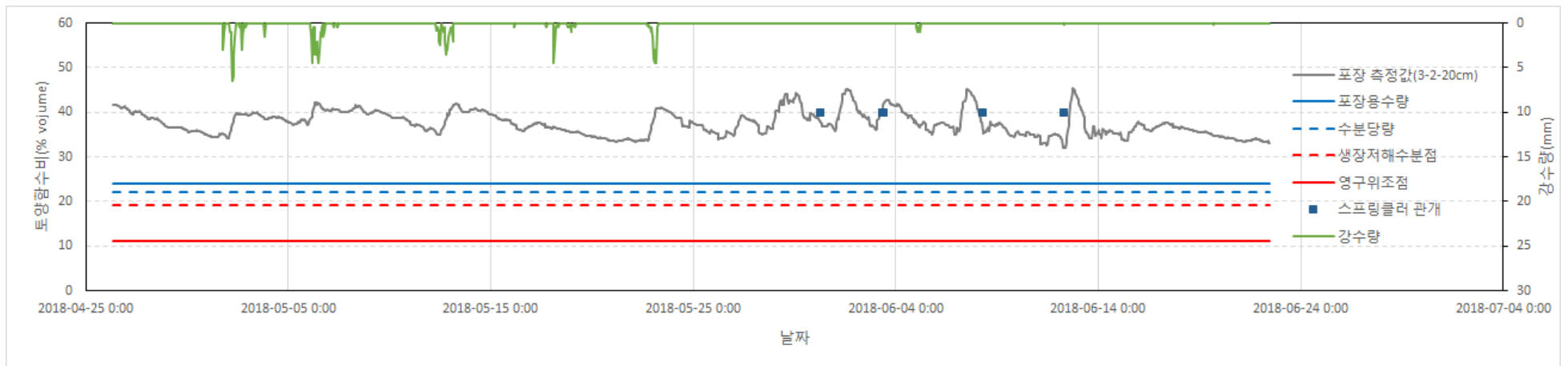


그림 2.3.116 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-2-20cm

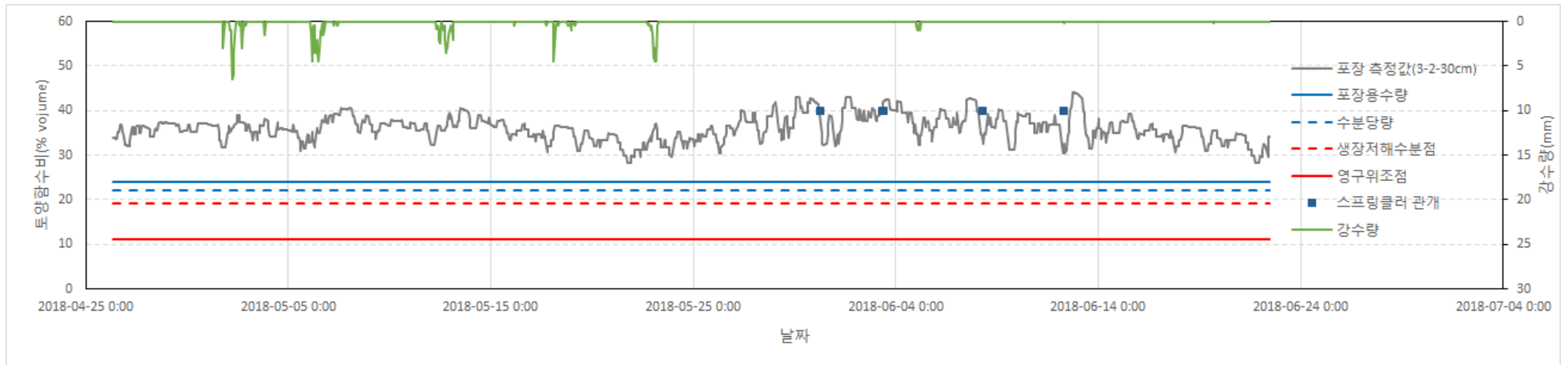


그림 2.3.117 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-2-30cm

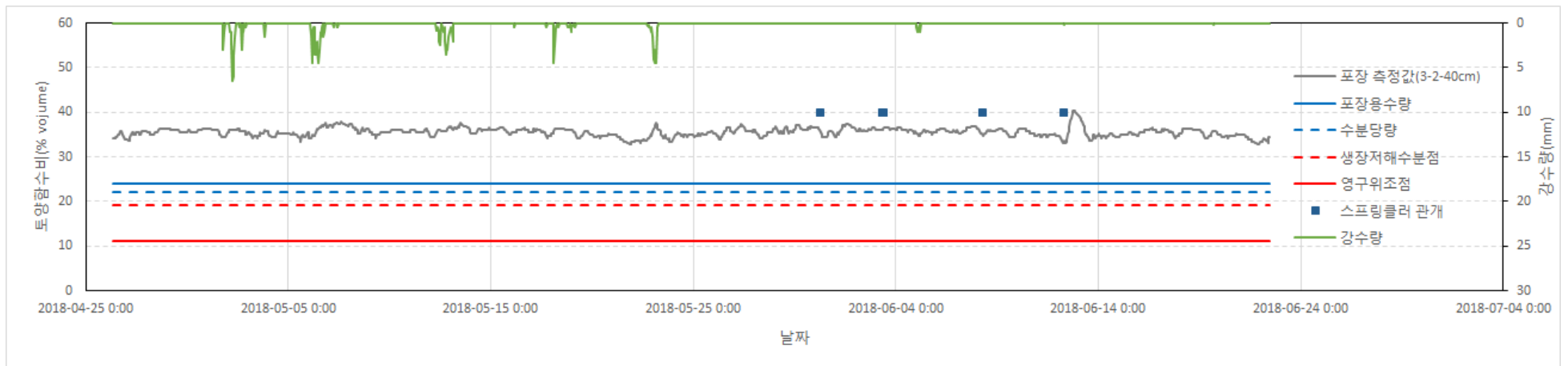


그림 2.3.118 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-2-40cm

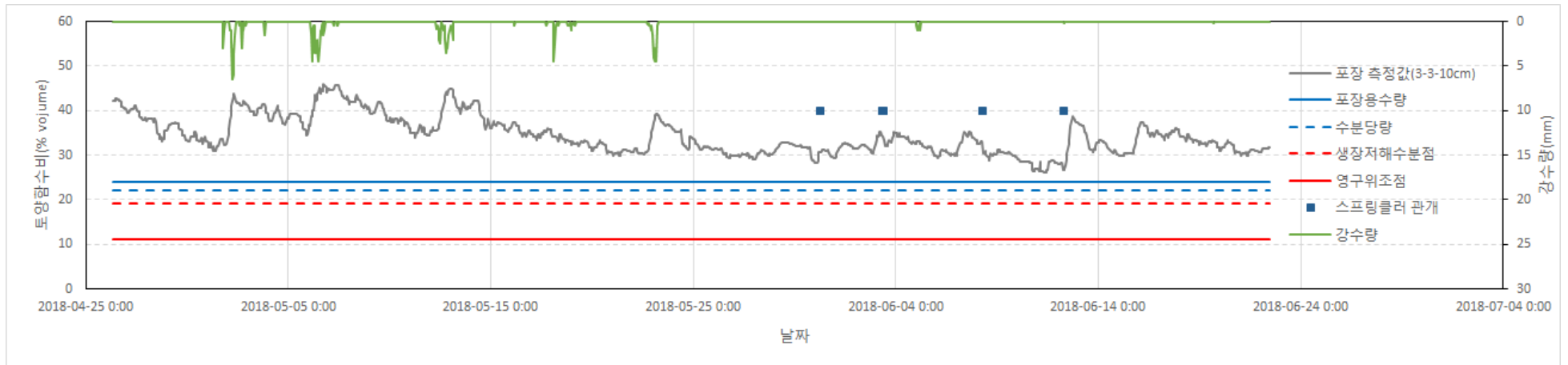


그림 2.3.119 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-3-10cm

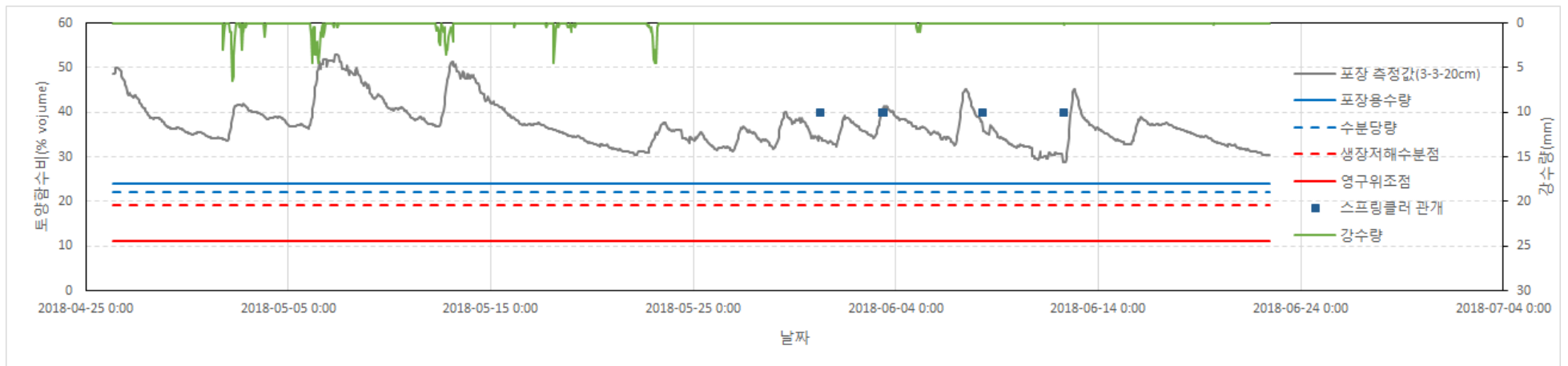


그림 2.3.120 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-3-20cm

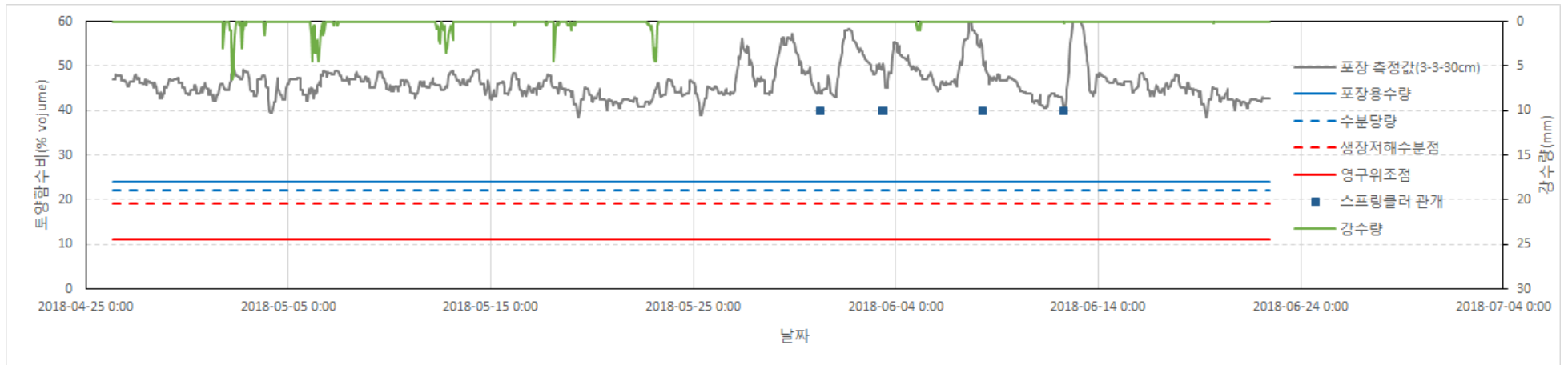


그림 2.3.121 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-3-30cm

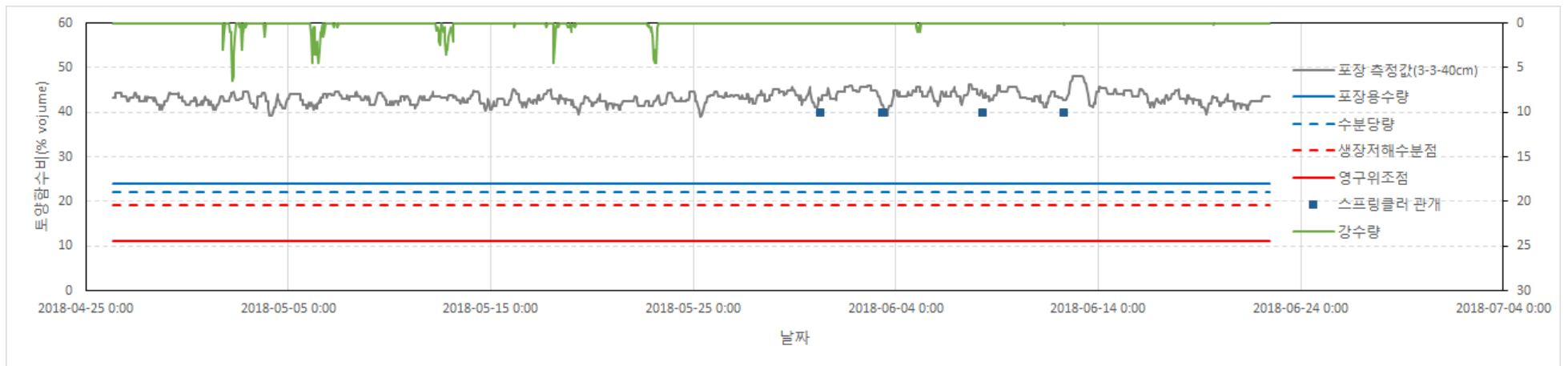


그림 2.3.122 2018년 감자 재배시기 강수량 및 토양수분-구역3-3-40cm

3.3 토양수분 제어모형 개발을 위한 토양수분 변화 분석

콩 재배시의 토양수분의 변화도 마찬가지로 모든 구역에서 전반적으로 심도가 깊을수록 토양수분이 높고 강수량에 따른 변동이 작고 심도가 얕을수록 강수량에 따른 변동이 큰 것으로 나타났다. 감자 재배시와 달리 콩 재배시는 강수일수와 강수량이 매우 많은 관계로 스프링클러 관개는 별도로 실시하지 않았다. 이 시기는 많은 강수량과 강수일수로 인해 지하배수는 지속적으로 실시했으나 심도 40cm 센서와 지하수위 센서로 확인한 결과로 지하수위는 근근역까지 상승하지 않은 것으로 나타났다. 전체적으로 센서의 작동과 데이터의 획득까지의 시스템의 안정성은 확인하였다.

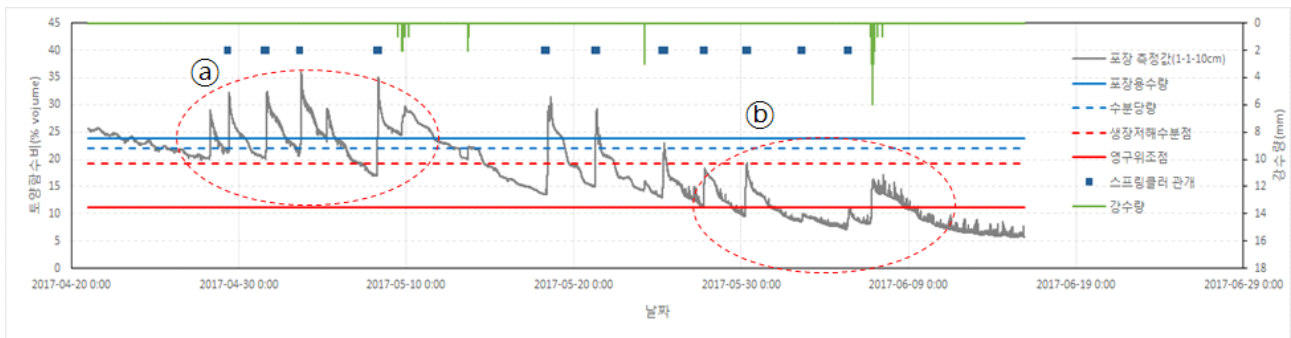


그림 2.3.123 경험적 관계에 따른 토양수분 제어의 문제점

관행적인 관계에 의한 가장 큰 문제점은 위 그림에서 ①과 ②의 경우로 나타낼 수 있다. 가장 큰 문제점은 각각의 경우 동일하게 나타나는 문제로 관개의 시작시기와 1회 관개에 따른 토양수분의 상승을 제어하지 못한다는 것이다. ①의 경우에는 관개 시작은 생장저해수분에 도달한 경우에 실시되어 관개 시작시기는 적절한 것으로 보이지만 1회 관개 후 토양수분이 지나치게 상승된 경우이다. ②의 경우에는 관개가 실시되어야 하는 시점을 지나쳐 위조점을 넘어선 단계에서 관개가 실시되어 작물에 영향을 미칠 정도의 수분량을 1주일 이상 지속시킨 경우이다. 이 경우에 관개를 실시하여 토양수분을 더 상승시키는 것이 바람직했으나 관행적인 관개시간을 적용하여 관개량이 부족한 상태로 관개를 마친 경우이다. 따라서 ①과 ②의 경우가 발생하지 않도록 제어하는 것을 목적으로 본 시스템을 구축하였다. 센서 계측값에 의한 제어의 가장 기본적인 변수는 [관개 시작 토양수분]과 [1회 관개 시간]으로 설정하였다. [관개 종료 토양수분]을 제어 변수로 설정하지 않은 것은 토양특성과 멀칭상태 등에 따라 관개에 따른 토양의 침투속도와 침투량이 다르기 때문으로 실제 영농인이 가장 쉽게 조절할 수 있는 두 변수로 설정하였다.

본 연구에서 토양수분의 제어 방식은 다음 [토양수분 제어를 위한 제어모형]에서 다루지만 센서 계측값에 의한 관개제어의 두 변수인 [관개 시작 토양수분]과 [1회 관개 시간]의 설정을 위하여 토양수분계측값을 분석하면 다음과 같다.

가. 토양수분 감소 속도

다음 [토양수분 제어를 위한 제어모형]에서 다루겠지만 본 연구에서는 토양수분제어의 주

심도를 20cm로 설정하였다 향우 작물의 종류, 토양의 종류, 재배형태(평지재배, 고랑재배 등) 등에 따라 심도는 다를 수 있으나 본 연구의 테스트베드에 대한 제어방식의 설정을 통해 적용성을 검토하고자 하였다. 근근역 20cm에서의 토양수분의 감소 속도는 대략 다음과 같이 나타났다.

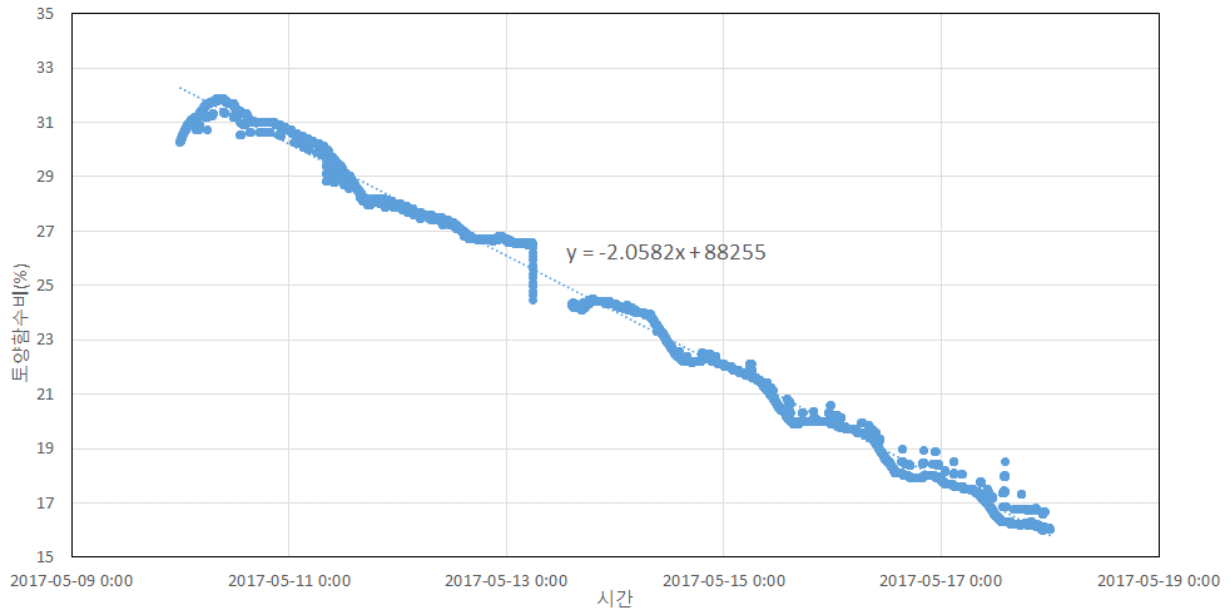


그림 2.3.124 일반조건에서 심도 20cm에서의 토양수분 감소 속도

위의 그림은 현재까지 계측된 테스트베드의 심도 20cm에서의 대표적인 토양수분 감소경향을 나타낸다. 그림에서 보면 대략 심도 20cm에서는 일평균 2.0%의 속도로 토양수분이 감소하는 것으로 나타났다.

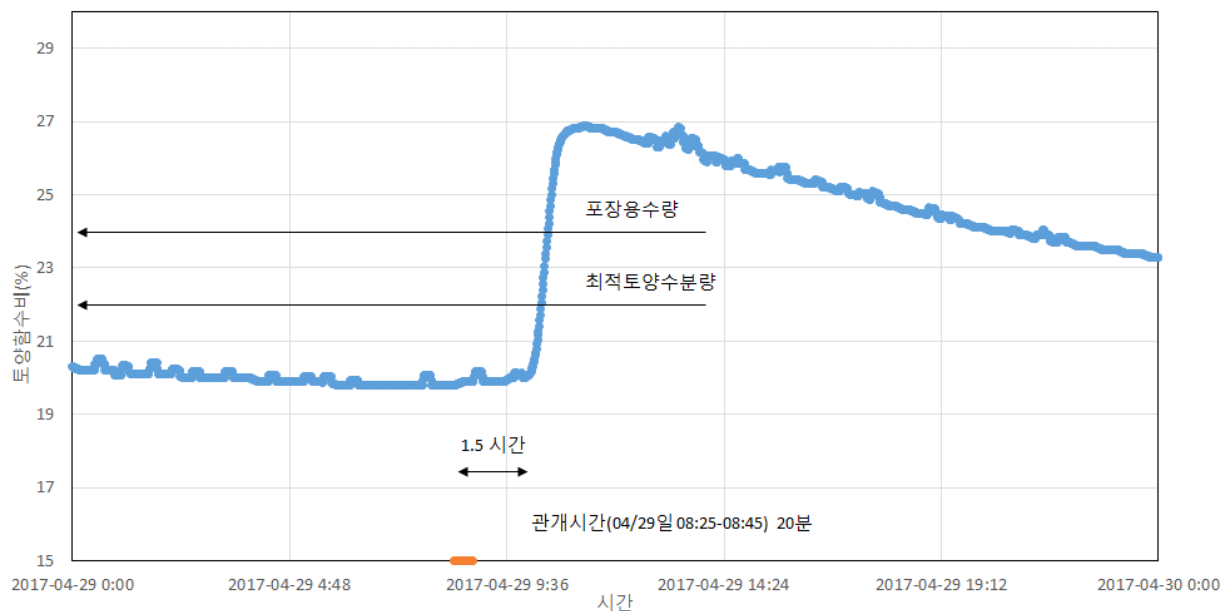


그림 2.3.125 일반조건에서 심도 20cm에서의 관행관개에 의한 토양수분변화

위 그림은 현재까지 계측된 테스트베드의 심도 20cm에서 관개후 토양수분의 변화를 나타낸다. 심도 20cm에서는 관개시작 후 1.5시간 경과 후 토양수분이 상승하며 현재까지 시행한 최소 관개시간인 20분에 의해서도 포장용수량 이상으로 상승하는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 요약하면 금일 관개를 실시하지 않는 경우 24시간 경과 후에는 토양수분이 2.0% 감소할 수 있으며, 관개 시작 후 토양수분은 1.5시간 경과 후 상승하기 시작하므로 이를 고려해서 관개를 실시해야하며, 관개시간은 10분 내외로 실시하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

4. 토양수분 제어를 위한 제어모형 개발

4.1 토양수분 제어를 위한 관개 시나리오 개발

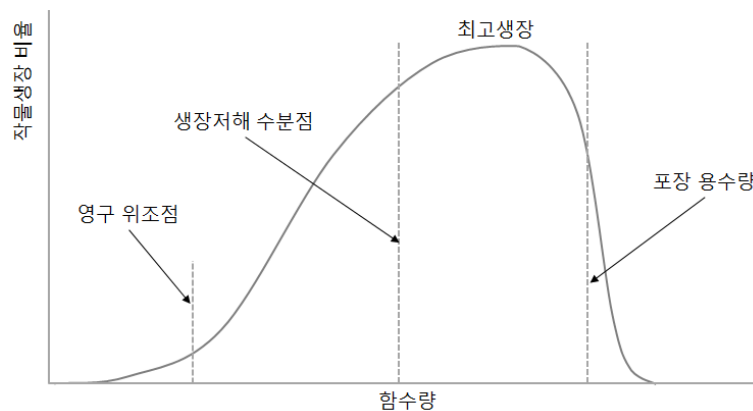


그림 2.3.126 토양수분과 작물생장의 관계

위의 그림에서 보듯이 토양수분과 작물생장은 밀접한 관계를 가진다. 토양수분이 생장저해 수분점보다 작게 되면 작물의 증발산량이 급격하게 감소되어 생육이 부진하게 된다. 포장용수량과 생장저해 수분점 사이의 수분을 생장유효수분(RAM, readily available moisture)이라고 한다. 작물의 적절한 생육을 위해서는 토양수분량을 이 범위로 유지시켜야 한다. 최적수분량은 작물의 종류와 생육시기 등에 따라 다르지만 보통의 경우 포장용수량의 60-80% 또는 공극률의 40-60%가 된다.

따라서 최적의 토양수분을 유지한다는 것은 이상과 같이 포장의 토양수분이 생장저해 수분점과 포장용수량 사이에 있도록 유지하고 가능하면 작물의 최고생장을 유지할 수 있는 토양수분에서 유지될 수 있도록 제어하는 것이다. 본 연구에서는 토양수분 제어 시스템개발과 연계하여 토양수분 제어의 방식으로 3가지 형태를 제시하고자 하였다. 각각의 방식은 다음과 같다.

표 2.3.3 토양수분제어의 3가지 방법

| 구분 | 내용 | 필요 시스템 | 비고 |
|-------------------|---------------------------------|--|-----------|
| ON/OFF Mode | · 관행 관개방식으로 영농인이 직접 제어 | · ON/OFF 시스템 · Application | |
| Sensor Based Mode | · 센서 계측값이 최적 토양수분에 있도록 제어 | · ON/OFF 시스템 · 센서-통신 시스템 · Application | |
| Model Based Mode | · 센서 계측값과 강우예보자료를 이용한 모델에 의한 제어 | · ON/OFF 시스템 · 센서-통신 시스템 · 토양수분예측모형 · Application | 강우예보자료 필요 |

ON/OFF Mode는 기존의 관행관개 방식에 따른 토양수분관리 방식을 영농인이 직접 관개의 실시와 종료를 제어하는 방식으로 가장 기본적인 방식 본 연구에 포함하였다.

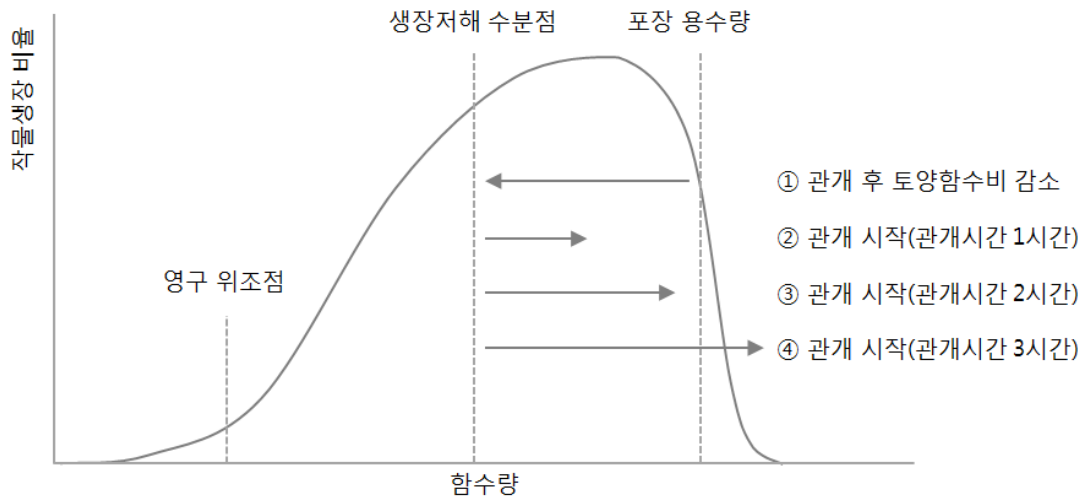


그림 2.3.127 토양수분 제어 시나리오(관개)

Sensor Based Mode는 센서에 의해 계측된 토양수분 값과 입력된 관개시작 토양수분과 관개시간을 이용하는 토양수분 제어방식으로 제시하였다. 토양수분 계측값이 위 그림에서 성장저해수분점에 도달하면 관개를 시작하고 관개시간은 관개에 의해 토양수분이 포장용수량을 넘지 않도록 관리하는 것을 목표로 한다. 본 연구에서는 앞서 살펴본 바와 같이 본 테스트베드에서의 성장저해수분점인 19.2%에 도달하면 관개를 시작하는 것이 일반적일 수 있으나 1일 토양수분의 감소량, 관개 시작 후 토양수분의 상승 시작시간을 고려하고 최적토양수분이 22.0%인 점을 고려하면 관개시작은 토양수분이 20.0%에 도달하면 실시하는 것으로 제시하였다. 또한 1회 관개시간은 역시 앞서 살펴본 바와 같이 10분으로 설정하였다.

Model Based Mode는 관개 시작의 결정에 향후 강우발생 여부를 포함하는 것으로 토양수

분의 예측모델을 활용하는 것이다. 현재 토양수분의 값을 계측센서로 부터 수신하고 일정 시간 이후의 강우발생 여부를 포함하여 모델에 의해 토양수분을 예측한 후 관개시작 여부와 관개시간을 결정하는 방식으로 제시하였다. Model Based Mode의 토양수분예측모형은 다음[토양수분 제어를 위한 예측모형 개발]에 제시하였다.

4.2 토양수분 제어를 위한 지하배수 시나리오 개발

지하배수는 일반적으로 지표배수의 효율성을 증가시키고 특히, 경지 내의 지하수위를 신속하게 낮추어 작물이 습해를 입지 않도록하며 토양 내의 포화함수 상태로 인한 작물의 영향을 최소화하기 위해 설치하는 시설이다. 지하배수 암거에 의한 농업생산기반정비사업계획 설계기준(배수편)에서는 평상시와 강우 후의 지하수위의 적정 수준에 대하여 다음과 같이 제시하고 있다.

표 2.3.4 농업생산기반정비사업계획설계기준(배수편)의 적정 지하수위 및 지하일수

| 토 지 이 용 구 분 | 강우후 2~3일의 지하수위 | 평상시지하수위(강우후 7일 이내) |
|-------------|----------------|--------------------|
| 벼 1 모 작 | 지표면하 30 ~ 40cm | 지표면하 40 ~ 50cm |
| ┌ 목 초 | 〃 40 ~ 50cm | 〃 50 ~ 60cm |
| └ 전 답 윤 환 | 〃 40 ~ 50cm | 〃 50 ~ 60cm |
| ┌ 일반 전 작 물 | 〃 50 ~ 60cm | 〃 60 ~ 100cm |
| 영 년 생 작 물 | 〃 50 ~ 60cm | 〃 60 ~ 100cm |

따라서 본 연구에서는 지표하 특정 심까지 지하수위가 상승하면 암거배수의 밸브를 열어 지하수를 배출하는 것으로 구축하고자 하였다.

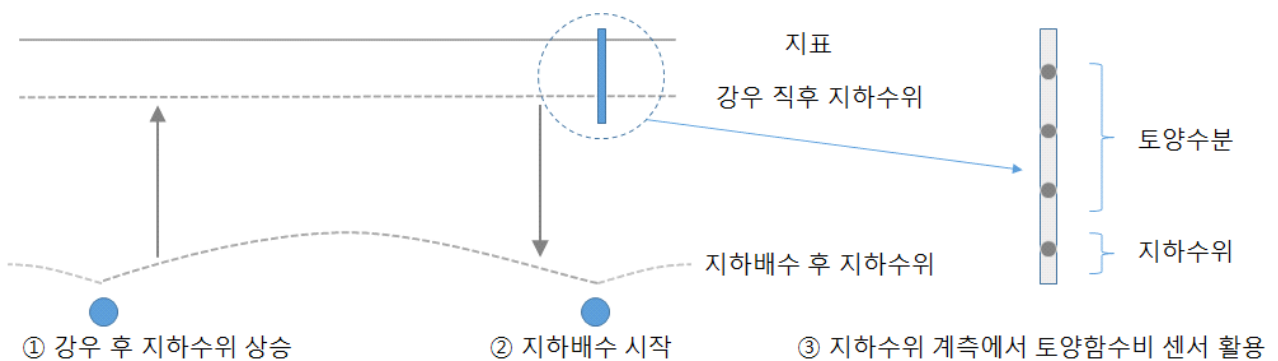


그림 2.3.128 토양수분 제어 시나리오(지하배수)

관개와는 달리 배수시간을 특정하지 않는 것으로 계획하였으며 지하배수의 경우 지하수위를 조절하기 위한 것이 주목적이므로 지하배수의 시작이 중요하며 밸브의 on/off의 작동을 위한 웹기반 또는 앱기반의 제어장치를 활용하도록 구축하고자 하였다. 본 연구에서 구축하고자 하는 제어시스템에서 지하수위를 별도로 계측할 수 있는 시스템을 구축하는 것은 어려운 것으로 판단하였으며 토양수분 계측에 사용되는 층위별 토양수분센서의 제일 하부 센

서의 값을 활용하였다. 위의 그림과 같이 층위별 센서의 가장 아래 센서를 활용하여 지하수 위의 상승을 예측할 수 있도록 하였다. 상부 3개의 센서는 심도별 토양수분센서로 활용하고 마지막은 토양이 포화되는 경우 지하수위가 상승한 것으로 하여 지하암거배수를 실시하는 것으로 구축하였다.

4.3 토양수분 제어를 위한 예측모형 개발

가. 토양수분예측 모형 개요

논밭전용 농경지에서 밭작물의 관개계획 수립을 위한 밭토양 물수지 모의 프로그램을 개발하였다. 밭작물 물수지 모델은 작물이 물부족에 의한 스트레스를 받지 않도록 적절한 시점에 유효한 관개량을 투입하는 목적으로 설계되었으며, 다음 그림과 같이 작물재배정보와 농경지 토양정보, 그리고 기상예보정보를 바탕으로 일별 토양수분 모의를 통해 관개시기와 관개량을 도출한다.

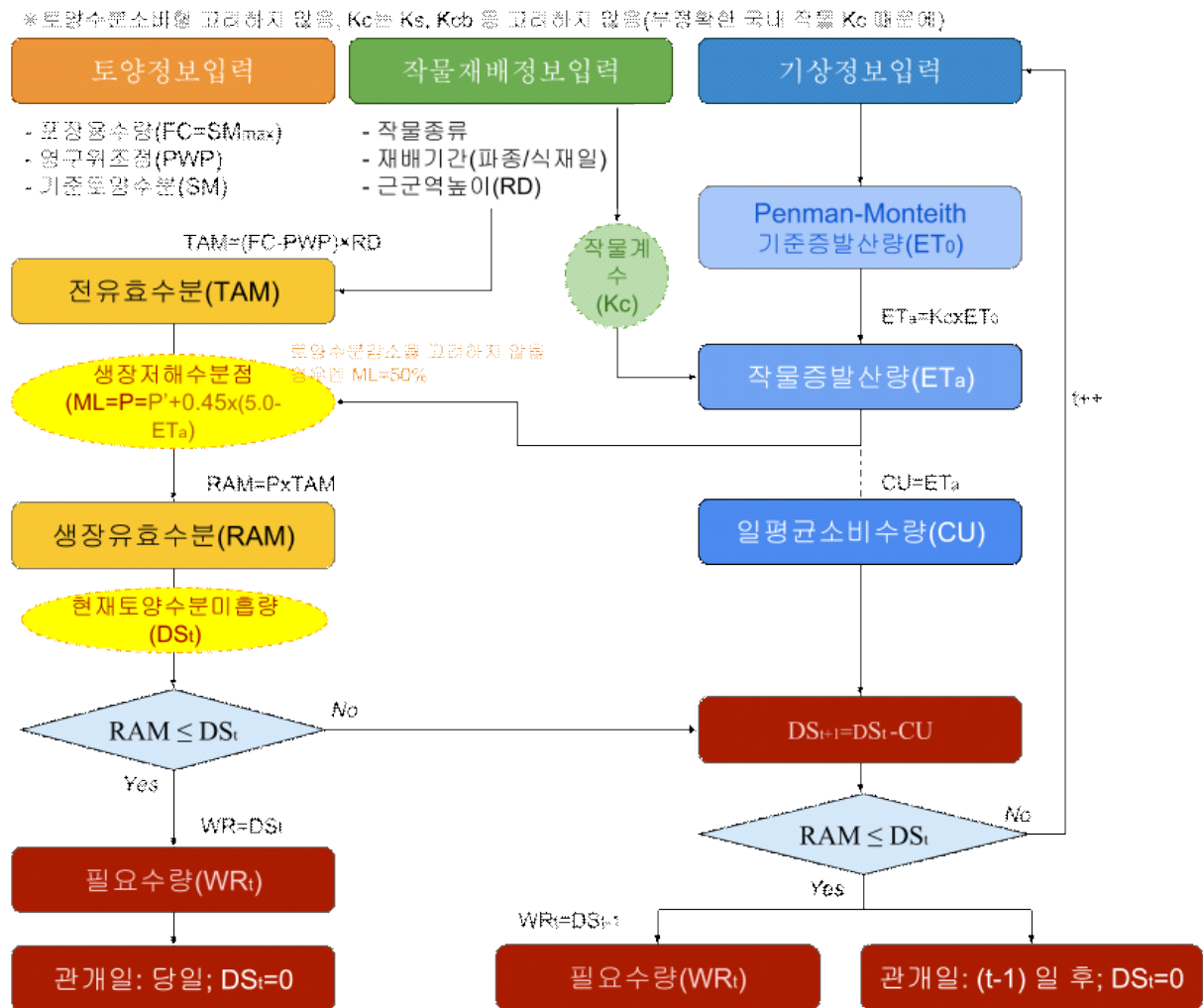


그림 2.3.129 일단위 밭작물 토양수분 모의와 관개계획을 위한 물수지 프로그램 구성

나. 발작물 관개계획을 위한 물수지 모의 모형의 구성

토양수분 모형을 이용한 발작물 관개계획 지원을 위하여 토양수분 물수지 모형을 구성하였다. 토양수분 물수지 모형은 기상자료, 토양 및 작물 특성자료를 활용하여 토양수분을 추정할 수 있도록 다음 식과 같이 구성하였다 (남원호 등, 2014).

$$\Delta SM_t = [PR_t + IR_t + CR_t] - [CU_t + DP_t + RO_t] \quad (2.3.1)$$

여기서, ΔSM_t 은 t일 기준으로 전일(t-1)토양 내에서의 토양수분 변화량 (mm), PR은 강수량 (mm), RO는 지표유출량 (mm), IR은 관개량 (mm), CR은 모관력에 의한 수분상승량 (mm), CU는 작물증발산량 (mm), 그리고 DP는 유효토층 하부에서의 지하배수량 (mm)이다.

위의 식에서 모관력에 의한 수분상승량을 무시하고, 강수량, 지표유출량, 그리고 지하배수량을 유효우량으로 대리하면 다음의 식과 같이 표현된다.

$$\Delta SM_t = SM_t - SM_{t-1} = [ER_t + IR_t] - CU_t \quad (2.3.2)$$

여기서, SM_t 는 t일의 토양수분 (mm)이고, SM_{t-1} 은 전일 (t-1)의 토양수분 (mm)이다.

(1) 소비수량 (증발산량)

발작물의 소비수량 CU는 기준증발산량 (ET_0 , Reference evapotranspiration)과 작물계수 (KC, crop coefficient)를 이용하여 계산한 작물증발산량 (ET_a , Actual evapotranspiration)으로 정의한다 (식 (3)).

$$CU = ET_a = K_c \cdot ET_0 \quad (2.3.3)$$

작물계수는 작물의 종류와 생육단계에 따라 달라지는데 기준증발산량에 대한 실제증발산량의 비로 정의된다. FAO Irrigation & Drainage Paper No.56에서는 Dual Kc와 Single Kc 두 가지 작물계수를 소개하는데, 일반적으로 계산이 간단한 Single Kc를 적용한다. 본 연구에서는 표 1에 정리한 바와 같이 농어촌연구원 등에서 제안한 작물계수를 작물재식일 기준으로 10일 단위로 재구성하여 적용하였다.

표 2.3.5 작물별 주요 파라미터 (근근역, 토양수분감소율, 작물계수)

| 작물 | 고추 | 콩 | 가을배추 | 봄감자 | 난지마늘 | |
|-----------------------|------|-----|------|------|------|------|
| 근근역 (cm)* | 70 | 60 | 58 | 50 | 40 | |
| 토양수분감소율** | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.35 | 0.3 | |
| 재배기간 (재식 후) 중 작물계수*** | 10일 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.35 | 0.17 |
| | 20일 | 0.5 | 0.6 | 0.9 | 0.35 | 0.17 |
| | 30일 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.35 | 0.17 |
| | 40일 | 0.6 | 0.6 | 1.1 | 0.58 | 0.39 |
| | 50일 | 0.8 | 0.8 | 1.2 | 0.81 | 0.83 |
| | 60일 | 0.7 | 0.9 | 1.7 | 1.05 | 0.96 |
| | 70일 | 0.7 | 1.2 | 1.2 | 1.05 | 1.07 |
| | 80일 | 0.8 | 1.6 | 1.2 | 1.05 | 1.06 |
| | 90일 | 0.8 | 1.1 | 1.3 | 1.05 | 0.78 |
| | 100일 | 0.8 | 1.2 | 1 | 0 | 0.45 |
| | 110일 | 0.8 | 1.4 | 0 | 0 | 0.45 |
| | 120일 | 0.8 | 0.7 | 0 | 0 | 0.45 |
| | 130일 | 0.7 | 0 | 0 | 0 | 0.38 |
| | 140일 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.38 |
| 150일 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.38 | |

*고추 (신용훈 등, 2017), 콩/배추/감자/옥수수/상추 (정강호 등, 2015)

**농어촌연구원 (2003), Doorenbos & Pruitt (1977)

***고추/콩/가을배추 (서울대학교 농업개발연구소, 1990; 농어촌연구원 2005), 봄감자 (농어촌연구원, 2003)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2.3.4)$$

여기서, Δ 는 증기압 곡선의 기울기 (kPa/°C), R_n 은 지구 (작물) 표면에서 순수하게 축적되는 에너지 (순일사량, MJ/m²day), G 는 토양 열 유속 밀도 (MJ/m²day), γ 는 건습계 상수 (kPa/°C), T 는 평균기온 (°C), u_2 는 2 m 높이에서의 풍속 (m/sec), e_s 는 포화수증기압 (kPa), e_a 는 실제수증기압 (kPa)이다.

기준증발산량은 위 식의 FAO Penman-Monteith 기준증발산량 공식으로 계산한다 (Allen et al., 1998). 과거 국내에서 기준증발산량 산정은 실무에서 주로 Blaney-Criddle (B-C)법과 FAO-Penman법 등을 이용하였다. 하지만 최근에는 복합기상자료를 이용하는 FAO Penman-Monteith법을 세계식량기구 (FAO), 세계관개배수위원회 (ICID), 세계기상기구 (WMO) 등에서 추천하고 있다. 기존 Penman법의 단점을 보완한 FAO Penman-Monteith법은

전 세계적으로 작물 필요수량에 대하여 일관된 값을 제공하고 적용성이 뛰어난 것으로 알려져 있다 (Allen et al., 1998).

(2) 유효우량

유효우량 (ER, Effective rainfall)은 토양 속으로 침투한 강수량 중에서 토양수분 함양과 작물 수분 소비에 기여한 양이다. 따라서 강수량 중에서 배수되지 않은 우량이 유효우량이 된다. 밭에서의 유효우량은 토양의 종류와 작물의 종류 및 시기에 따라 다르게 산정되는데, 강우가 발생했을 때 전일의 토양수분 (SM_{t-1})과 대상 토양의 포장용수량과 성장저해수분점에 따른 성장유효수분의 크기, 작물증발산량, 그리고 직접유출에 의한 배수량을 고려하여 계산된다. 그리고 일강수량이 기준증발산량의 20%에 미달하는 경우엔 FAO 기준에 따라 무효한 것으로 간주한다 (Allen et al., 1998).

강우량이 당일의 작물증발산량과 전일의 토양수분미흡량 (SD, Soil moisture depletion)의 합에 미치지 못할 때는 당일 강수량 모두가 유효우량이 되고, 이를 초과할 때는 지표로 배수되는 직접유출량을 제외한 양을 유효우량으로 간주한다. 토양수분미흡량은 일별 토양수분 수지 해석을 통해서 계산된 양으로서 관개요구량이다.

$$\begin{aligned} \text{if } DR_t \geq 0, \quad ER_t &= PR_t - DR_t = ET_{at} + (FC - SM_{t-1}) = ET_{at} + SD_{t-1} \\ \text{else,} \quad ER_t &= PR_t \end{aligned} \quad (2.3.5)$$

여기서, DR_t는 t일의 지표유출량 (mm), ER_t는 t일의 유효우량 (mm), ET_{at}는 t일의 작물증발산량 (mm), SM_{t-1}은 (t-1)일의 토양수분 (mm), 그리고 SD_{t-1}은 (t-1)일의 토양수분미흡량 (mm)으로 포장용수량을 채우기 위한 수분량이다.

(3) 지표유출량 (배수량)

지표유출량, 즉 배수량 (DR)은 강수량 중에서 토양 속으로 침투한 우량을 제외하고 지표를 통해 경지를 벗어나는 수문학적 직접유출량으로 SCS CN법으로 결정한다. 본 모형은 논 토양에 밭작물을 재배하는 경우로서 AMC-II 선행토양함수조건 (Antecedent soil moisture condition)에서 CN을 78로 전제하였다. 이때 최대잠재보유수량 (Potential maximum retention) S와 직접유출량 (Q)은 다음 식으로 계산된다. 일강수량 (P)이 최대잠재보유수량 (S)의 20%보다 적을 땐 직접유출을 무시한다.

$$S = \frac{25400.0}{CN} - 254.0 \quad (2.3.6)$$

$$\begin{aligned} \text{if } P \leq 0.2S, \quad DR &= Q = 0 \\ \text{else,} \quad DR &= Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \end{aligned} \quad (2.3.7)$$

직접유출량에 의한 배수량이 존재하면 유효우량은 강수량 중에서 배수량을 배제한 양에서 계산되고, 배수가 발생하지 않는 조건에서는 모든 강우량이 유효우량으로 인정될 수 있다.

(4) 토양수분미흡량

작물이 흡수할 수 있는 토양수분은 모관수에 해당하며, 작물이 사용할 수 있는 모관수의 최대 크기는 토양의 포장용수량 (FC, Field capacity)과 영구위조점 (PWP, Permanent wilting point)사이의 유효수분 (AM, Available moisture)으로서 유효수량의 최댓값으로 이해할 수 있다. 포장용수량이란 포장에 충분한 물을 공급한 후, 24시간 정도 경과하여 중력수가 유하하고 난 뒤의 토양수분 상태를 말하며, 영구위조점은 작물이 시들어 죽게 되는 시점의 토양수분으로 흔히 위조점 (WP, Wilting point)으로 일컫는다. 초기위조점 (IWP, Initial wilting point)은 작물이 시들기 시작하는 토양함수량이고 성장저해수분점은 토양수분의 부족으로 작물이 충분한 성장활동을 못하게 되는 토양수분 상태로 일반적으로 유효수분의 약 50% 수준을 사용한다 (정하우 등, 2007; 김용완 등, 2012). 그리고 토양수분이 성장저해수분점보다 내려가면 작물의 증발산량이 급격하게 감소하여 생육이 부진하게 되는데, 유효수분 중 성장저해수분점과 포장용수량 사이의 수분량을 성장유효수분 혹은 신속토양수분이용량 (RAM, Readily available moisture)으로 정의한다.

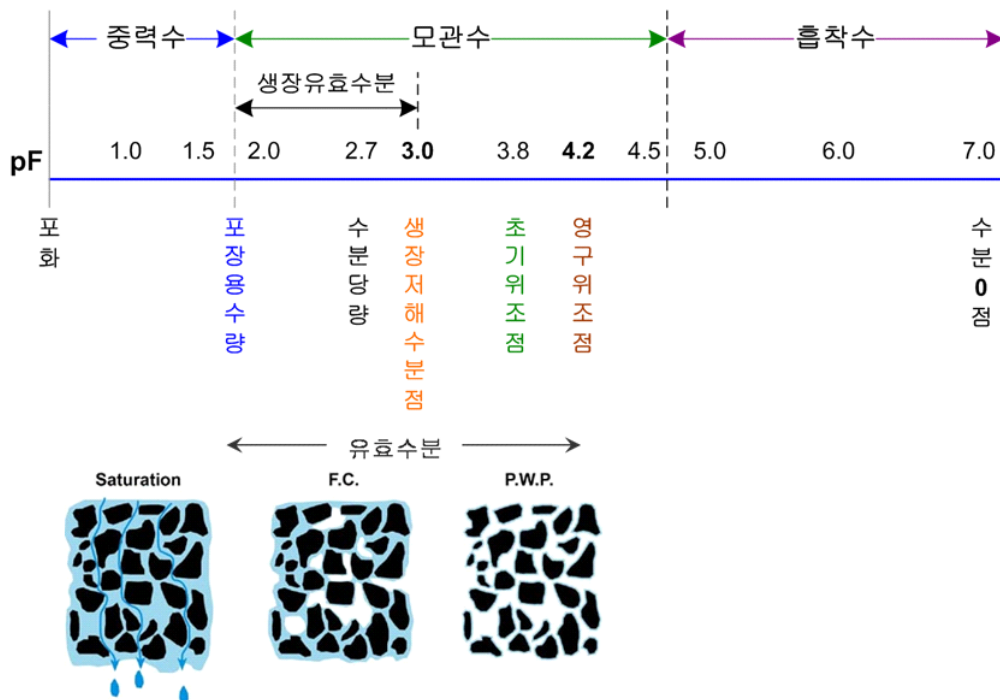


그림 2.3.130 토양수분의 분류 (관개배수공학, 2007; 토양학, 2006)

토양 내 작물에 의한 수분소비가 이뤄지는 층을 유효토층이라 하는데 토양면 증발, 뿌리의 수분흡수, 모관력에 의한 수분이동 등이 일어나는 층으로 맑은 날이 계속되어도 수분이 감소하지 않는 깊이까지의 토층이다. 유효토층을 몇 개의 층으로 분할하고 각 층에서 포장용수량으로 된 후 수분감소량을 측정해서 유효토층 전체의 수분 감소량에 대한 비율 (%)로 표시한 것을 토양수분소비형 (SMEP, Soil moisture extract pattern)이라고 한다. 밭토양에서의 토양수분소비형은 토양, 작물의 종류와 생육단계, 수분상태에 따라 다르고 실측이 필요하므로 대부분의 관개계획이나 물관리에서는 고려하지 않는 경우가 많다. 수자원장기종합계획 (2006)이나 농어촌용수이용합리화계획, 한국농어촌공사 HOMWRS 매뉴얼 상에서 제시하

는 발용수량 산정 이론은 전용이유효수분량 TRAM (Total readily available moisture)를 사용하는데, 토양을 단일층으로 처리하고 SMEP가 명확하지 않을 경우에는 토양층별 구분이 무의미하므로 사실상 RAM을 사용한다. 토양을 단일층으로 간주하여 토양수분소비형을 고려하지 않으면 재배작물의 근근역 (RD, Root depth) 내의 생장유효수분 RAM (mm)은 다음의 식으로 계산한다. 예를 들어 토양의 포장용수량이 40%, 영구위조점이 15%이고 고추를 재배할 경우엔 표 1에서 근근역의 크기는 70 cm이고 이에 따른 유효수분의 크기는 175 mm ($70 \text{ cm} \times (40\% - 15\%)$), 생장유효수분은 87.5 mm이다.

$$RAM = 10 \cdot RD \times [FC + PWP] \times 50\% \quad (2.3.8)$$

여기서, RAM은 작물과 토양에 따른 최대 생장유효수분량 (mm)이고, RD는 작물 근근역 깊이 (cm), FC는 포장용수량 (%), 그리고 PWP는 영구위조점 (%)이다.

이론적으로 작물은 위조점까지 토양수분을 고르게 이용할 수 있지만, 유효토층내의 수분 감소량은 일정하지 않은 경우가 많고 일반적으로 표층에서 하층으로 내려갈수록 감소한다. FAO에서는 작물별로 근근역의 감소율 (Depletion fraction)을 증발산량이 5mm/day인 경우 표 1과 표 2와 같이 제시하였다 (농어촌연구원, 2003; Allen et al., 1998). 따라서 토양수분소비형을 고려할 필요가 없이 단층으로 간주하는 경우에 RAM과 TAM (Total available moisture)은 같은 값을 갖는다. 그러므로 토양수분 감소율을 고려한 생장유효수분량은 위의 식의 결과와 토양수분 감소율의 곱으로써 다음의 식과 같이 계산된다.

$$RAM = P \times TAM \quad (2.3.9)$$

여기서, P는 토양수분감소율이다. 이때 토양수분감소율은 증발산량 5mm/day 기준이므로 일 증발산량에 따라 다음의 식에 따라 보정하여 사용한다.

$$P = \bar{P} + 0.04 \times (5 - ET_a) \quad (2.3.10)$$

여기서, P는 작물증발산량 (ET_a)에 따라 보정된 토양수분감소율이고, \bar{P} 는 강수량 5 mm/day 기준의 토양수분감소율로서 표 1 혹은 표 2와 같이 작물별로 다르게 적용한다.

결론적으로 토양수분미흡량 SD는 일별 토양수분의 변화를 추적하는 식의 물수지를 RAM을 기준으로 토양수분미흡량의 향으로 변환한 다음의 식으로 계산된다. 토양수분미흡량이 RAM보다 같거나 커지는 날이 관개일이며 해당 날의 토양수분미흡량이 관개량이 된다.

$$SD_t = FC - SM_t = SD_{t-1} + ET_{a_t} - ER_t \quad (2.3.11)$$

표 2.3.6 작물별 최대 근근역 깊이와 토양수분감소율 (Allen et al., 1998)

| 작물명 | 근근역 깊이 | 감소율 | 작물명 | 근근역 깊이 | 감소율 |
|-----|---------|------|--------|---------|------|
| 양배추 | 0.5-0.8 | 0.45 | 당근 | 0.5-1.0 | 0.35 |
| 샐러리 | 0.3-0.5 | 0.20 | 마늘 | 0.3-0.5 | 0.30 |
| 상치 | 0.3-0.5 | 0.30 | 양파(담배) | 0.3-0.6 | 0.30 |
| 무우 | 0.3-0.5 | 0.30 | 고추 | 0.5-1.0 | 0.30 |
| 토마토 | 0.7-1.5 | 0.40 | 오이 | 0.7-1.2 | 0.50 |
| 메론 | 0.8-1.5 | 0.40 | 감자 | 0.4-0.6 | 0.35 |
| 고구마 | 1.0-1.5 | 0.65 | 시금치 | 0.3-0.5 | 0.30 |
| 콩 | 0.6-0.8 | 0.50 | 참깨 | 1.0-1.5 | 0.60 |
| 보리 | 1.0-1.5 | 0.55 | 알파파 | 1.0-2.0 | 0.55 |
| 사과 | 1.0-2.0 | 0.50 | 포도 | 1.0-2.0 | 0.35 |

다. 관계계획 프로그램의 개발

Python 3.6으로 본 모형을 구현하였다. 기준증발산량 계산을 위한 기상관측소 정보와 기상자료를 텍스트 파일 형태로 작성하고, 대상 경지의 토양수리특성 (포장용수량, 영구위조점)과 모의 시점의 현재 토양수분 (%), 그리고 대상 작물과 재식일을 Windows command 창에서 입력하도록 하였다. 토양수분미흡량이 RAM을 넘기는 날이 발생하면 토양수분 모의를 멈추고 해당 날짜와 필요한 관개량을 파일 형태로 출력한다.

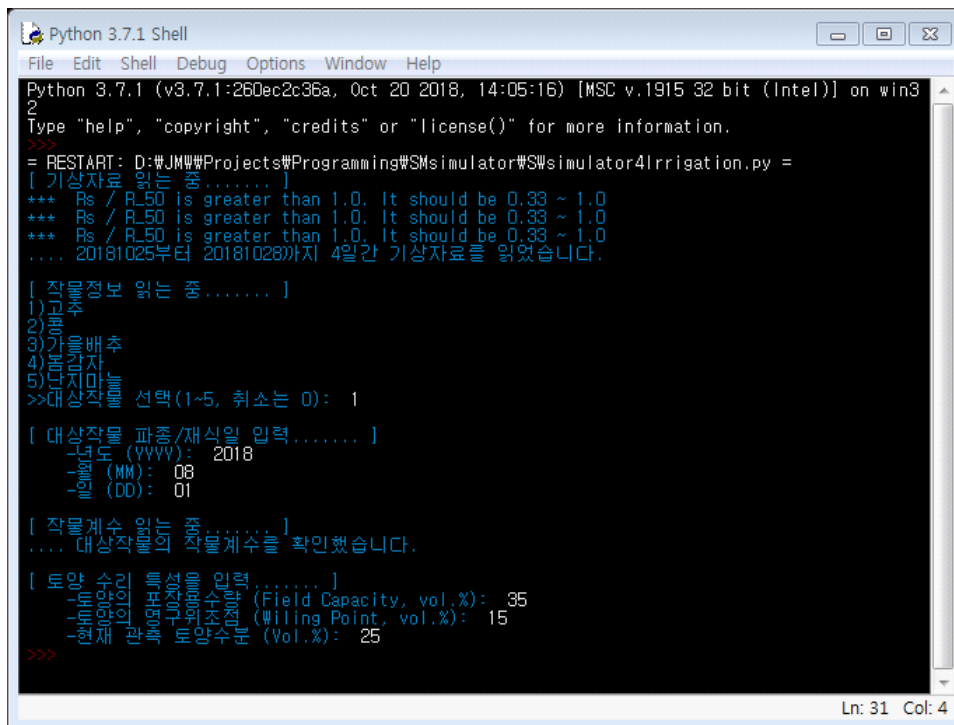


그림 2.3.131 발작물 관계계획 프로그램 실행 화면

(1) 프로세스

밭작물 관개계획을 위한 토양 물수지 분석을 위해 12개의 메소드와 3개의 입력파일을 처리하는 프로세스를 구성하였다. 그리고 각 메소드의 기능과 인수, 그리고 리턴 값은 다음의 표에 정리된 바와 같다.

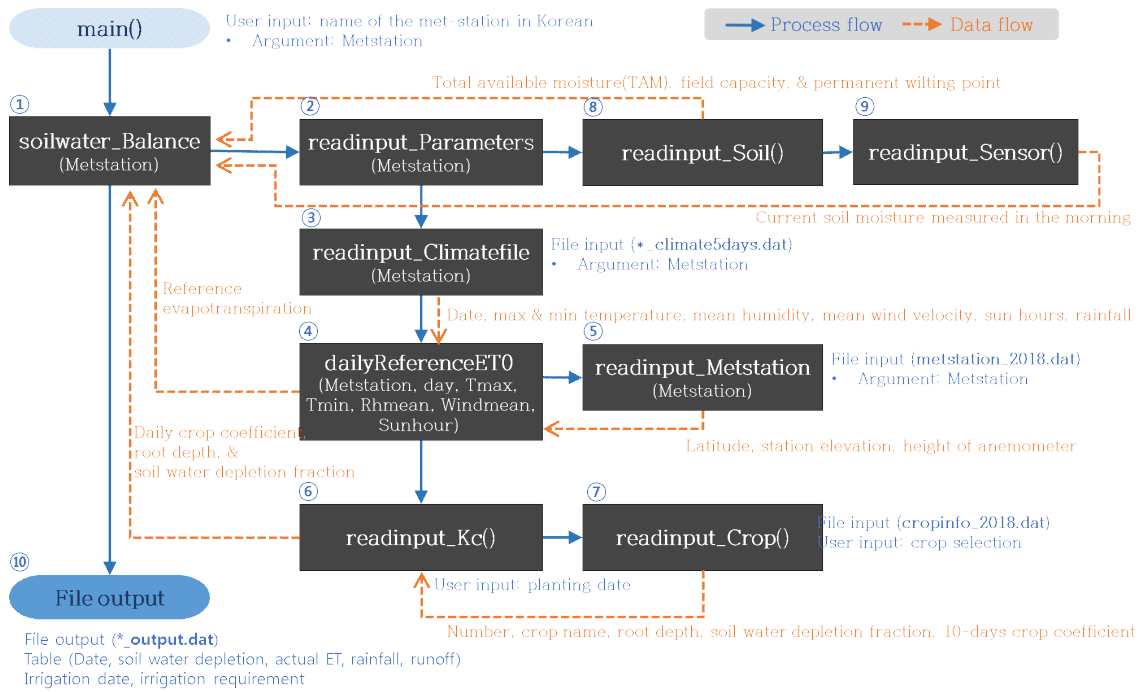


그림 2.3.132 관개계획을 위한 토양물수지 모의 프로세스 및 자료 흐름

표 2.3.7 메소드 내역

| | |
|-----|---|
| 메소드 | def getDiffDay_Str(year, month, day): |
| 설명 | 현재 날짜 기준으로 year(문자열)-month(문자열)-day(문자열) 날짜와의 차이(>0: 과거 날짜, <0: 미래 날짜) 리턴 |
| 인수 | year(string, 연도, yyyy), month(string, 월, mm), day(string, 일, dd) |
| 리턴 | delta.days(date, 일수) |
| 메소드 | def getDiffDay_Date(input_day, today): |
| 설명 | 현재 날짜(today, date 객체) 기준으로 input_day(date 객체) 날짜와의 차이(>0: 미래 날짜, <0: 과거 날짜) 리턴 |
| 인수 | input_day(date, 일자), today(date, 오늘 일자) |
| 리턴 | delta.days(date, 일수) |
| 메소드 | def readinput_Soil(): |
| 설명 | 토양 수리특성 읽기: 포장용수량(%), 영구위조점(%), 전용이유효수분량(%) |
| 인수 | 없음 |
| 리턴 | TAM_noroot(float, 전용이유효수분량, %), soil_fieldcapacity(float, 포장용수량, %), soil_wiltingpoint(float, 영구위조점, %) |
| 메소드 | def readinput_Crop(): |
| 설명 | 작물정보 텍스트 파일(파일명: cropinfo_2018.dat)을 읽고, 작물 선택 후 해당 특성값 리턴: 작물번호, 작물명, 근근역깊이, 토양수분감소율, 순별작물계수 |
| 인수 | 없음 |
| 리턴 | cropinfo(list, 작물번호/작물명/근근역깊이/토양수분감소율/순별작물계수) |
| 메소드 | def readinput_Climatefile(Metstation): |
| 설명 | 일자별 강수량, 기준증발산량, 작물계수가 정리된 텍스트 파일(파일명: 기상관측소코드_climate5days.dat) 읽어 리턴(리스트) |
| 인수 | Metstation(string, 기상관측소 코드) |
| 리턴 | dailyclimate(list, 일자/최고온도/최저온도/평균상대습도/평균풍속/일조시간/강수량) |
| 메소드 | def readinput_Metstation(Metstation): |
| 설명 | 기상관측소 속성정보 텍스트 파일(파일명: metstation_2018.dat) 읽기: 기상관측소 위도, 해발고도, 풍속계 높이 |
| 인수 | Metstation(string, 기상관측소 코드) |

| | |
|-----|---|
| 리턴 | latitude(float, 기상관측소 위도), stationheight(float, 기상관측소 해발고도, m), anemoheight(float, 풍속계 높이, m) |
| 메소드 | def dailyReferenceET0(Metstation, day, Tmax, Tmin, RHmean, Windmean, Sunhour): |
| 설명 | Penman-Monteith 일기준증발산량 계산하여 리턴 |
| 인수 | Metstation(string, 기상관측소 코드), day(string, 날짜, YYYYMMDD), Tmax(float, 일최고기온, °C), Tmin(float, 일최저기온, °C), RHmean(float, 상대습도, %), Windmean(float, 평균풍속, m/sec), Sunhour(float, 일조시간, hr) |
| 리턴 | ETr(float, 일기준증발산량, mm/day) |
| 메소드 | def readinput_Kc(): |
| 설명 | 선택한 작물번호와 재배일에 따른 작물계수 리턴 |
| 인수 | 없음 |
| 리턴 | kcclist(list, 작물근구역/토양수분감소율/일자/작물계수) |
| 메소드 | def readinput_Parameters(Metstation): |
| 설명 | 토양수분 모의를 위한 일별 입력 변수 설정: 일자, 강수량, 기준증발산량, 작물계수, 근구역 깊이, 토양수분감소율 |
| 인수 | Metstation(string, 기상관측소 코드) |
| 리턴 | cropclim(list, 날짜/강수량/기준증발산량), kc_info[0](float, 작물계수, dimensionless) |
| 메소드 | def readinput_Sensor(): |
| 설명 | 현재 토양수분 관측치(Volumetric %) 입력 받기 |
| 인수 | 없음 |
| 리턴 | soil_water_current(float, 현재 토양수분, Volumetric %) |
| 메소드 | def soilwater_Balance(Metstation): |
| 설명 | 일별 토양수분 모의하고 결과(차기 관개일과 관개량)를 파일로 출력 |
| 인수 | Metstation(string, 기상관측소 코드) |
| 리턴 | Metstation_output.dat(file, 출력파일명) -날짜(string, yyyyymmdd)/토양수분부족량(float, mm)/실제증발산량(float, mm)/일강수량(float, mm)/일유출량(float, mm), 관개일자(string, yyyy-mm-dd)/관개량(float, mm) |
| 메소드 | def main(): |
| 설명 | 모형 실행 |
| 인수 | 없음 |
| 리턴 | 없음 |

(2) 입력 파일 작성

입력 파일은 작물정보가 포함된 cropinfo_2018.dat와 기상관측소 정보가 담긴 metstation_2018.dat, 그리고 일별 기상예측자료를 나열한 *_climate5days.dat로 구성된다. 작물정보는 작물별 작물코드, 작물명, 근구역, 토양수분감소율, 재식 후 순별 작물계수를 그림 5와 같이 텍스트 파일로 저장한다. 기상관측소는 관측소코드, 관측소명, 북위, 동경, 관측소 해발고도, 기압계해발고도, 기온계지상높이, 풍속계지상높이, 강우계지상높이 등의 속성을 순서대로 다음 그림과 같이 파일에 정리한다. 다음 그림은 관계계획에 필요한 기상자료 (최고온도, 최저온도, 평균습도, 평균풍속, 일조시간, 강수량)를 일단위로 작성한 파일이다. 모든 자료항목 사이는 쉼표 (comma)로 분리한다.

```

0      10      20      30      40      50      60      70      80      90
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
1 ##근구역: 고추(신용훈 등, 2017, 고해상도 기상자료와 토양수분모형을 이용한 고추의 관개량 산정, ht1
2 ##작물계수: 고추/콩/가을배추-밭작물 소비수량 산정방법 정립 연구(서울대학교 농업개발연구소, 1990);
3 ##x토양수분감소율: 제주도 밭관개 용수량 산정방법 정립에 관한 연구(2)(농어촌연구원, 2003), FAO crop
4 작물코드, 작물명, 근구역, 토양수분감소율, 10Dayafter, 20Dayafter, 30Dayafter, 40Dayafter, 50Dayafter, 60D
5 1, 고추, 70.0, 0.30, 0.5, 0.5, 0.5, 0.6, 0.8, 0.7, 0.7, 0.8, 0.8, 0.8, 0.8, 0.8, 0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
6 2, 콩, 60.0, 0.50, 0.6, 0.6, 0.6, 0.6, 0.8, 0.9, 1.2, 1.6, 1.1, 1.2, 1.4, 0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
7 3, 가을배추, 58.0, 0.5, 0.5, 0.9, 0.7, 1.1, 1.2, 1.7, 1.2, 1.2, 1.3, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
8 4, 봄감자, 50.0, 0.35, 0.35, 0.35, 0.35, 0.58, 0.81, 1.05, 1.05, 1.05, 1.05, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
9 5, 난지마늘, 40.0, 0.30, 0.17, 0.17, 0.17, 0.39, 0.83, 0.96, 1.07, 1.06, 0.78, 0.45, 0.45, 0.45, 0.38, 0.38, 0.38,

```

그림 2.3.133 작물정보 입력파일 작성 예 (cropinfo_2018.dat)

```

0      10      20      30      40      50      60      70      80      90
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
1 코드, 이름, 북위, 동경, 관측소해발고도, 기압계해발고도, 기온계지상높이, 풍속계지상높이, 강우계지상높이
2 500, 금산, 50.80, 110.0, 100.0, 3.0, 1.0, 10.0, 0.5
3 090, 속초, 38.15, 128.34, 17.8, 18.8, 1.8, 11.8, 0.6
4 095, 철원, 38.09, 127.18, 154.2, 154.5, 1.8, 12.9, 0.5
5 098, 동두천, 37.54, 127.04, 112.5, 112.4, 1.7, 14.1, 0.6
6 099, 문산, 37.53, 126.46, 30.1, 31.4, 1.5, 10.0, 0.4
7 100, 대관령, 37.41, 128.46, 842.5, 844.0, 1.5, 10.0, 1.6
8 101, 춘천, 37.54, 127.44, 76.8, 77.7, 1.6, 9.8, 0.6
9 102, 백령도, 37.58, 124.38, 144.4, 157.9, 2.0, 10.0, 0.6
10 105, 강릉, 37.45, 128.54, 25.9, 26.5, 1.7, 13.8, 0.5
11 106, 동해, 37.30, 129.08, 39.6, 37.5, 1.5, 10.0, 0.6
12 108, 서울(송월), 37.34, 126.58, 85.5, 86.2, 1.5, 10.0, 0.2

```

그림 2.3.134 기상관측소 정보 입력파일 작성 예 (metstation_2018.dat)

```

0      10      20      30      40      50      60
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
1 날짜, 최고온도, 최저온도, 평균습도, 평균풍속, 일조시간, 강수량
2 20181021, 21.5, 12.3, 73.5, 2.80, 9.25, 0.0
3 20181022, 21.5, 10.3, 83.5, 2.78, 8.25, 0.1
4 20181023, 11.5, 5.3, 93.5, 3.08, 6.25, 0.0
5 20181024, 21.5, 12.3, 75.5, 2.98, 9.25, 0.0
6 20181025, 28.5, 13.3, 73.5, 2.38, 7.25, 5.0
7 20181026, 28.0, 18.0, 69.0, 3.00, 12.5, 10.6
8 20181027, 30.0, 23.0, 59.0, 1.80, 12.5, 1.0
9 20181028, 34.0, 23.0, 79.0, 2.30, 13.5, 0.0

```

그림 2.3.135 기상자료 입력파일 작성 예 (금산_climate5days.dat)

(3) 출력 파일

프로그램 실행 시점을 기준으로 토양수분 물수지 분석의 결과를 날짜 (YYYYMMDD), 토양수분미흡량 (mm), 실제증발산량 (mm), 강우량 (mm), 직접유출량 (mm)의 순으로 파일에 출력한다. 토양수분미흡량이 생장유효수분보다 크게 되는 경우에 관개일과 관개량을 파일에 마지막 라인에 삽입한다.

```

2 =====
3 ----                                OUTPUT                                ----
4 -----
5 Date(yyyymmdd)  Soil Moisture Depletion(mm)  Actual ET(mm)  Rainfall(mm)  Runoff(mm)
6 =====
7 20181026        30.7                          1.7            0.0           0.0
8 20181027        32.2                          1.5            0.0           0.0
9 20181028        33.1                          0.9            0.0           0.0
10 20181029        34.5                          1.4            0.0           0.0
11 20181030        36.2                          1.7            0.0           0.0
12 20181031        38.5                          2.3            0.0           0.0
13
14 ==> [ 5 ]일 후(2018-10-31) 오전에 [ 34.5 ] mm 관개가 필요합니다.
  
```

그림 2.3.136 관개계획 결과 출력 예 (금산_output.dat)

제4절 스마트 토양수분 제어시스템 개발

1. 토양수분 센서 및 네트워크

1.1 센서-네트워크 선정

토양수분 센서와 현장제어반과 데이터 통신을 하기 위하여 여러 가지 통신방식으로 구현할 수 있다. 1차년도에서 선정을 고려하였던 통신방식 중 센서와 제어반과의 환경, 데이터 신뢰성, 소요비용 등을 고려하여 층위별 토양수분 센서와 현장서버(SERVER) 기능을 하는 제어반으로 데이터를 전송하도록 개발하였다.

1차년도에서 검토한 지그비 모듈은 2.4GHz RF 모듈로 Zeebee 스택이 탑재되어 있다. RF 출력은 14dBm으로 테스트 하였고 WCDMA Modem 또한 무선 소출력 기기에 적합한 제품으로 선정하여 통신거리 시험을 하여 검토한 결과 WCDMA 통신으로 선정하여 개발하게 되었다. 또한 데이터 손실을 막기 위하여 2중화로 구성하게 되었다. 여기서 이중화라 함은 무선과 유선의 결합을 말한다.

1.2 센서-네트워크 구성

가. 센서 노드

무선 통신을 이용하여 층위별 토양수분 상태를 모니터링 할 수 있도록 WCDMA 모뎀을 이용하여 측정한다. 센서 및 WCDMA 모듈 및 배터리 구성을 다음 그림에 나타내었다. 본 연구에서는 자체의 유선 전원 공급이 어려운 환경을 고려하여 배터리 전원으로 3개월 이상 공급하는 것을 목표로 하였다.

하지만 이번 연구의 중요한 부분의 하나인 토양수분 데이터의 손실을 막기 위해서 이중화로 구성하게 되었다. 유선과 무선의 결합된 이중화 현장이라고 볼 수 있다.

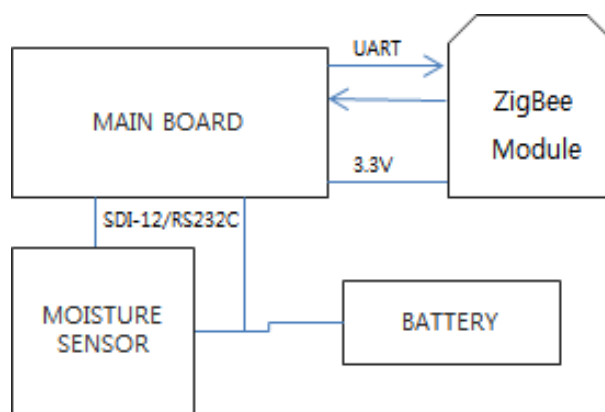


그림 2.4.1 센서 노드의 구성도

메인 보드의 프로세서는 센서에서 신호를 전송하여 센서와 동기화한 후 데이터 측정명령 신호를 데이터 채널을 통하여 전송한다. 측정 명령을 수신한 센서는 측정 데이터를 보드로 전송한다.

나. 저전력 방안(Micro controller unit)

Micro controller unit와 Zigbee 각각의 사용 시간을 줄여줌으로서 노드들이 활성화 되어 있는 시간을 줄여주어 저 전력을 실행하여 준다. MCU의 경우 소형에 저전력을 필요로 한다. 이에 따라 Watch dog timer를 이용해 Sleep Mode의 주기를 설정해 지원하는 슬립모드 중 전력소비가 가장 적은 Power-down Mode를 구현한다.

다. 관개 및 배수 제어장치 네트워크 구성도

관개배수는 초기에 인류생존에 필요한 식량을 생산하기 위한 수자원의 관리에 있었지만, 점차적으로 수자원 부족량 부족과 기후적인 변동에 따른 한발과 폭우로 발생하는 농업재해를 극복하기 위한 효율적 물관리 시스템의 개발과 운영을 포함하게 되었다. 그러나 사회문화의 발달과 인류의 삶의 풍요로움을 충족하기 위해 지금보다 더 좋은 자연과 인간 삶의 관계가 조화롭게 이루어지도록 환경 친화적인 조성기법이 요구되고 있으며, 공익적인 기능을 포함한 수량과 수질관리에도 세밀한 관심을 가진 기법을 활용하여 풍요로운 환경이 형성되도록 관개배수의 제어장치가 요구된다.

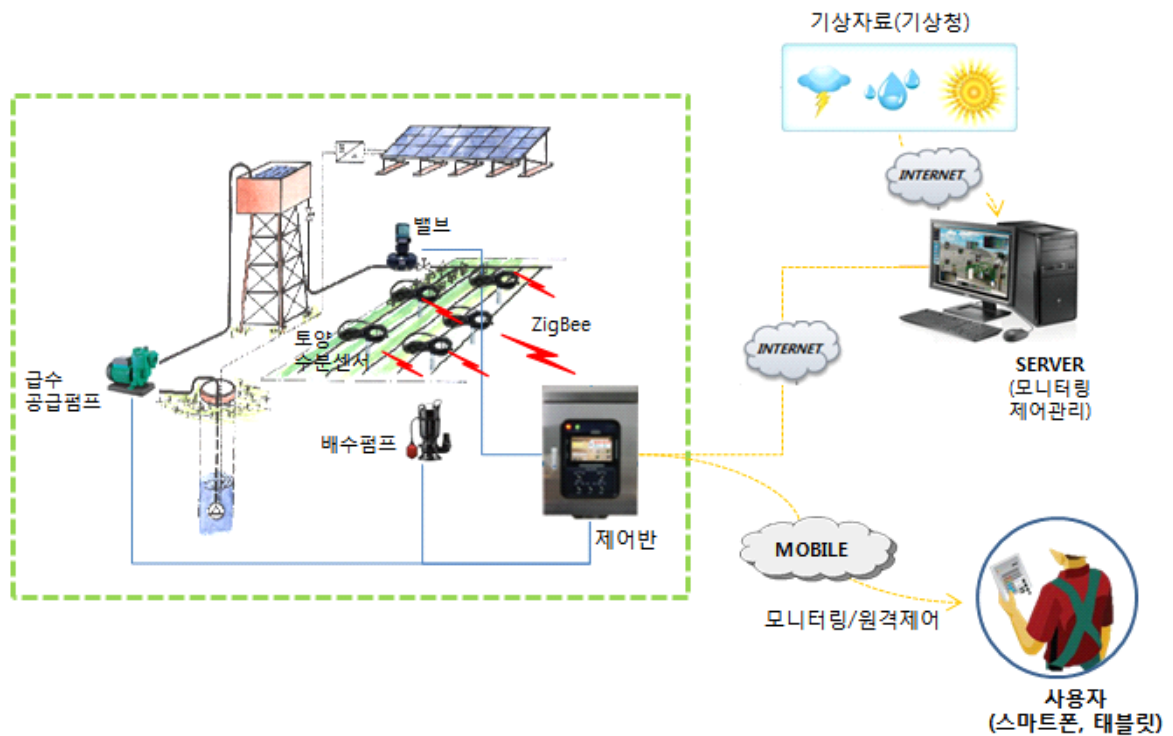


그림 2.4.2 네트워크 구성도

2. 토양수분 감시제어 시스템 구성 및 시나리오

2.1 화면구성

가. 터치패드 구성

Micro controll 터치 패널이 처음 시작되어지는 화면을 MAIN화면이라 하며, 터치패널 화

면 구성을 살펴보면 크게 ①트렌드 화면 전환 버튼, ②경보감시 화면 전환 버튼, ③데이터 수집 버튼, ④센서별 수분량 감시 화면, ⑤구역별수분감시화면, ⑥수분설정버튼, ⑦펌프 ON/OFF버튼 ⑧스프링쿨러 가동시간 설정 버튼으로 구분되어지는 것을 볼 수 있다.



그림 2.4.3 터치패드 화면 구성 설명

2.2 감시제어 시스템 시나리오

터치패드 구성 Main 화면에서 붉은색으로 표기된 ①트렌드 버튼을 누르게 되면 다음 그림의 화면으로 전환이 되면 등록된 태그 값들을 그래프로 현재 표시되어지고 있는 각 센서들의 토양수분 값을 확인할 수 있는 그래프 화면으로 전환되어진다.



그림 2.4.4 트렌트 내부 구성 설명

터치패드 구성 Main 화면에서 붉은색으로 표기된 ②경보감시 버튼을 누르게 되면 다음

그림과 같은 화면으로 전환이 되며 이 화면에서의 기능은 태그명, 발생시간, 종료시간등을 체크하게 된다.

태그명이라 함은 센서와 펌프등 각각의 개체를 말하며 펌프가동 시간 및 종료시간 그리고 각 층위별 토양수분 센서들의 설정 시간대별 데이터를 확인할 수 있다.

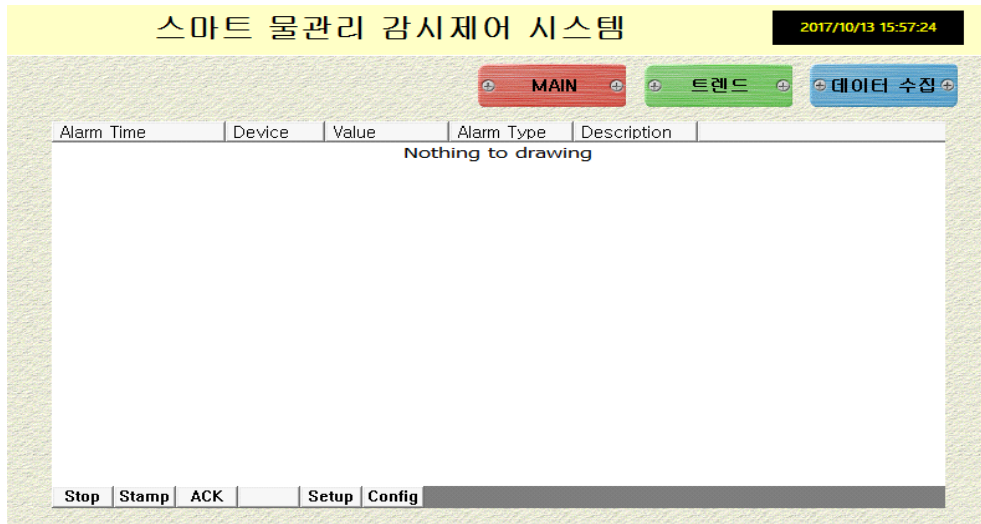


그림 2.4.5 경보감시 내부 구성 설명

터치패드 구성의 Main 화면에서 붉은색으로 표기된 ③데이터 수집 버튼은 터치스크린에 USB 메모리 카드를 삽입한 후 데이터 수집 버튼을 누르면 현재 시간까지의 층위별 토양수분 센서의 데이터를 USB 메모리 카드안에 .CSV 형태의 파일을 생성하게 된다. 현재 상주 테스트 지구의 데이터 수집은 10분에 한 번씩 저장을 할 수 있도록 설정되어져 있으며 24 시간이 되면 .CSV 형태의 파일로 저장되어 생성되어지고 자체 메모리에 아래의 그림과 같이 각각의 파일로 저장되어진다.

| | | | |
|--------------|------------------|---------------------|-------|
| 20170531.CSV | 2017-05-31 오후... | Microsoft Excel ... | 594KB |
| 20170601.CSV | 2017-06-01 오후... | Microsoft Excel ... | 584KB |
| 20170602.CSV | 2017-06-02 오후... | Microsoft Excel ... | 606KB |
| 20170603.CSV | 2017-06-03 오후... | Microsoft Excel ... | 610KB |
| 20170604.CSV | 2017-06-04 오후... | Microsoft Excel ... | 602KB |
| 20170605.CSV | 2017-06-05 오후... | Microsoft Excel ... | 594KB |
| 20170606.CSV | 2017-06-06 오후... | Microsoft Excel ... | 606KB |
| 20170607.CSV | 2017-06-07 오후... | Microsoft Excel ... | 604KB |
| 20170608.CSV | 2017-06-08 오후... | Microsoft Excel ... | 601KB |
| 20170609.CSV | 2017-06-09 오후... | Microsoft Excel ... | 605KB |
| 20170610.CSV | 2017-06-10 오후... | Microsoft Excel ... | 604KB |
| 20170611.CSV | 2017-06-11 오후... | Microsoft Excel ... | 608KB |
| 20170612.CSV | 2017-06-12 오후... | Microsoft Excel ... | 595KB |
| 20170613.CSV | 2017-06-13 오후... | Microsoft Excel ... | 597KB |
| 20170614.CSV | 2017-06-14 오후... | Microsoft Excel ... | 599KB |
| 20170615.CSV | 2017-06-15 오후... | Microsoft Excel ... | 545KB |
| 20170616.CSV | 2017-06-16 오후... | Microsoft Excel ... | 282KB |
| 20170617.CSV | 2017-06-17 오후... | Microsoft Excel ... | 190KB |
| 20170618.CSV | 2017-06-18 오후... | Microsoft Excel ... | 190KB |
| 20170619.CSV | 2017-06-19 오후... | Microsoft Excel ... | 190KB |
| 20170620.CSV | 2017-06-20 오후... | Microsoft Excel ... | 190KB |
| 20170621.CSV | 2017-06-21 오후... | Microsoft Excel ... | 190KB |
| 20170622.CSV | 2017-06-22 오후... | Microsoft Excel ... | 190KB |
| 20170623.CSV | 2017-06-23 오후... | Microsoft Excel ... | 190KB |
| 20170624.CSV | 2017-06-24 오후... | Microsoft Excel ... | 190KB |
| 20170625.CSV | 2017-06-25 오후... | Microsoft Excel ... | 177KB |
| 20170803.CSV | 2017-08-03 오후... | Microsoft Excel ... | 14KB |
| 20170804.CSV | 2017-08-04 오후... | Microsoft Excel ... | 2KB |

그림 2.4.6 데이터 수집 내부 파일 생성 화면

년 월 일.CSV 내부의 파일을 실행하게 되면 아래의 그림과 같이 선택한 해당 일의 층위별 토양수분 센서의 토양수분량 및 24시간의 토양수분의 변화량을 확인할 수 있다.

| 시간 | 센서6_10C | 센서6_20C | 센서6_40C | 센서7_10C | 센서7_20C | 센서7_30C | 센서7_40C | 센서8_10C | 센서8_20C | 센서8_30C | 센서8_40C | 센서9_10C | 센서9_20C | 센서9_30C | 센서9_40CM |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 2017-04-22 00:00 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 00:05 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 00:10 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 00:15 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 00:20 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 00:25 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 00:30 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 00:35 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 00:40 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 00:45 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 00:50 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 00:55 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 01:00 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 01:05 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 01:10 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 01:15 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 01:20 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 01:25 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 01:30 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 01:35 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 01:40 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 01:45 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 01:50 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 01:55 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 02:00 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 02:05 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 02:10 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 02:15 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 02:20 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 02:25 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 02:30 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 02:35 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 02:40 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 02:45 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 02:50 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 02:55 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 03:00 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 03:05 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 03:10 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 03:15 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 03:20 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 03:25 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |
| 2017-04-22 03:30 | 21.4 | 30.1 | 23.3 | 33.6 | 16.2 | 29.4 | 37.5 | 31.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 | 22.1 | 23.5 | 35.6 | 38.2 |

그림 2.4.7 데이터 수집 내부 파일 실행 화면

터치패드 구성의 Main 화면에서 붉은색으로 표기된 ⑤구역별수분감시화면은 아래 그림의 대조구별 층위별 토양수분센서의 수분량을 나타낸다.

| 센서 | 수분_20cm | 수분_30cm | 수분_40cm | 현재 수분(%) |
|------|---------|---------|---------|----------|
| 1 구역 | 25.2 % | 25.3 % | 38.2 % | 32.0 |
| 2 구역 | 27.1 % | 32.0 % | 24.8 % | 20.9 |
| 3 구역 | 23.9 % | 27.3 % | 30.0 % | 36.3 |
| 센서 1 | 14.7 % | 23.9 % | 27.3 % | 32.0 % |
| 센서 2 | 16.7 % | 27.2 % | 20.9 % | 26.9 % |
| 센서 3 | 18.5 % | 27.3 % | 22.2 % | 32.5 % |
| 센서 4 | 14.0 % | 24.6 % | 36.4 % | 30.8 % |
| 센서 5 | 18.9 % | 27.1 % | 36.3 % | 20.9 % |
| 센서 6 | 18.9 % | 27.1 % | 36.3 % | 20.9 % |
| 센서 7 | | | | |
| 센서 8 | | | | |

그림 2.4.8 구역별 목표 수분 화면

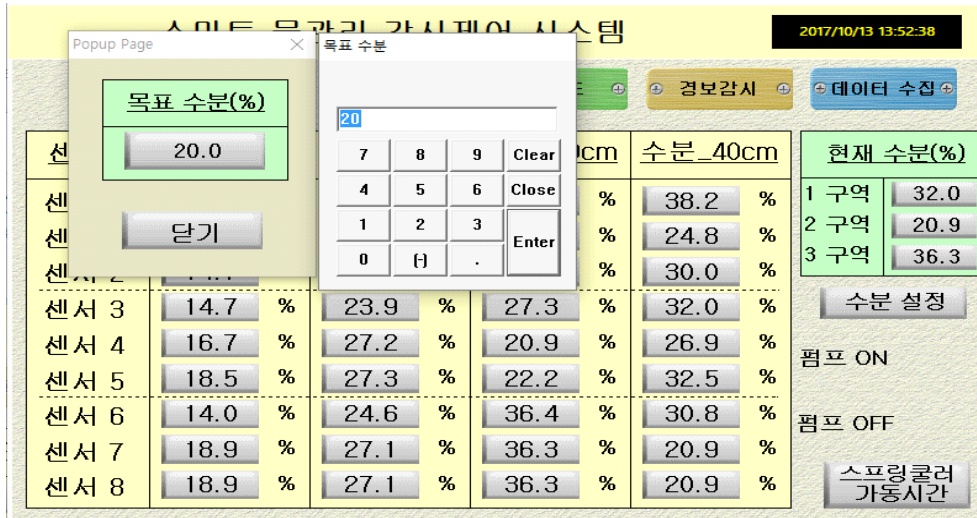


그림 2.4.9 구역별 목표 수분 설정 화면

터치패드 구성의 Main 화면에서 붉은색으로 표기된 ⑥수분설정버튼은 설치되어 있는 펌프의 자동 동작 시 사용자가 사용하고자 하는 기준 토양수분량을 설정하여 설정한 토양수분량이 센서에서 측정된 값을 그 이하로 수치가 떨어지게 되면 자동으로 펌프를 가동하여 스프링쿨러가 동작하여 토양에 수분을 공급할 수 있게 하는 기능을 제공한다.

위의 그림과 같이 수분 설정 버튼을 누르게 되면 목표 수분 값을 나타내는 화면이 실행된다. 여기에서 목표 수분량 밑에 설정 수치 값의 버튼을 누르게 되면 그림 과 같이 목표 수분을 수정할 수 있는 창이 실행되어진다.

사용자가 사용 시에 작물에 따라서 토양수분의 값을 유동적으로 적용할 수 있도록 목표 수분량을 수정하여 사용할 수 있는 기능을 제공한다.

터치패드 구성의 Main 화면에서 붉은색으로 표기된 ⑦펌프ON/OFF버튼은 토양수분센서에서 토양수분의 데이터를 측정할 때 가동 중(ON)과 가동 정지(OFF)의 기능을 가지고 있다.



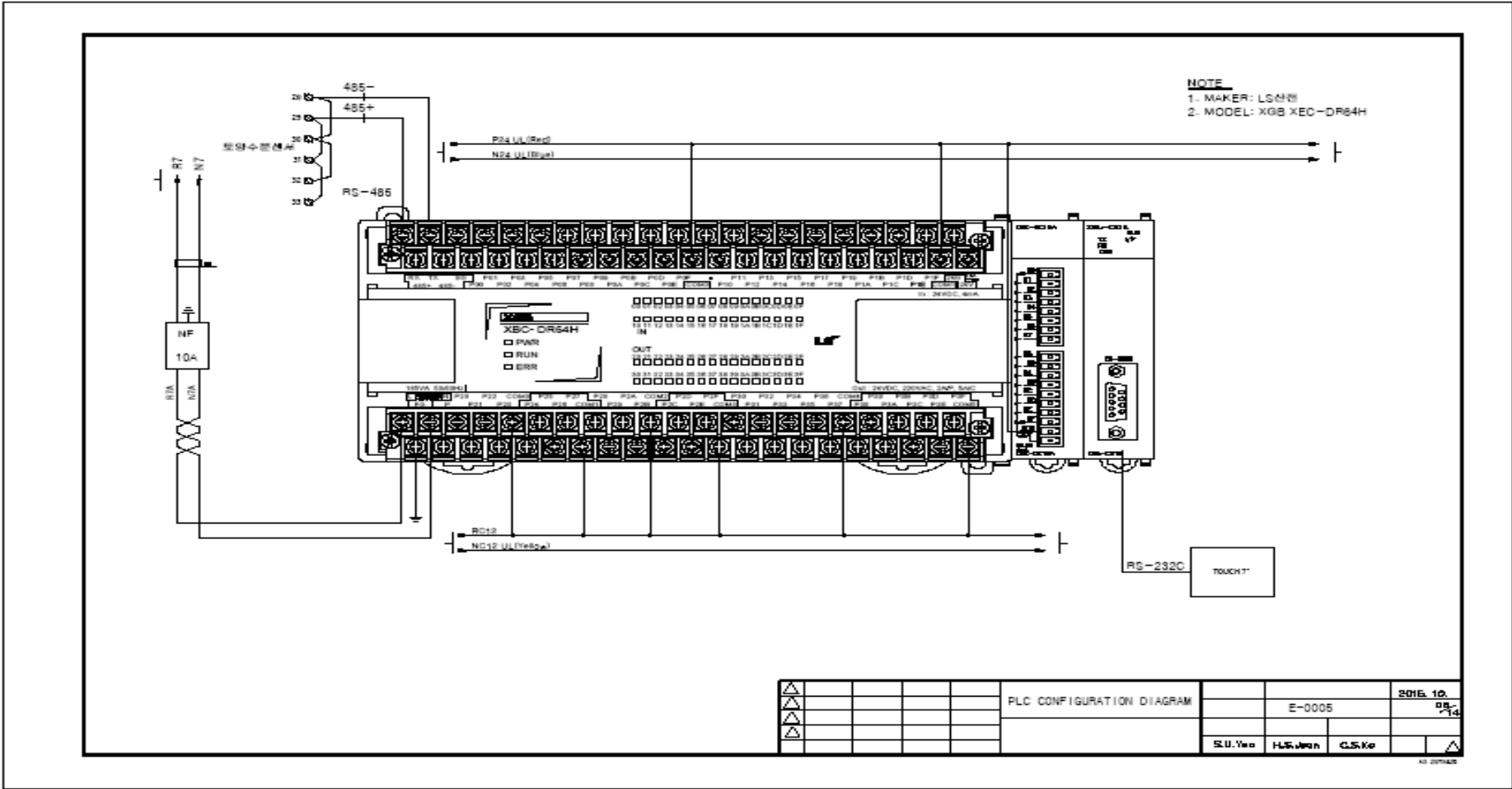
그림 2.4.10 펌프 ON / OFF 기능 화면

터치패드 구성의 Main 화면에서 붉은색으로 표기된 ⑧스프링쿨러 가동시간은 사용자가 임의로 밭의 면적에 목표 수분량이 아닌 자체적으로 용수를 공급하기 위하여 설정해 놓은 값이며 아래의 그림과 같이 설정가능하다. 목표 수분량과 같이 설정 방법은 동일하다.

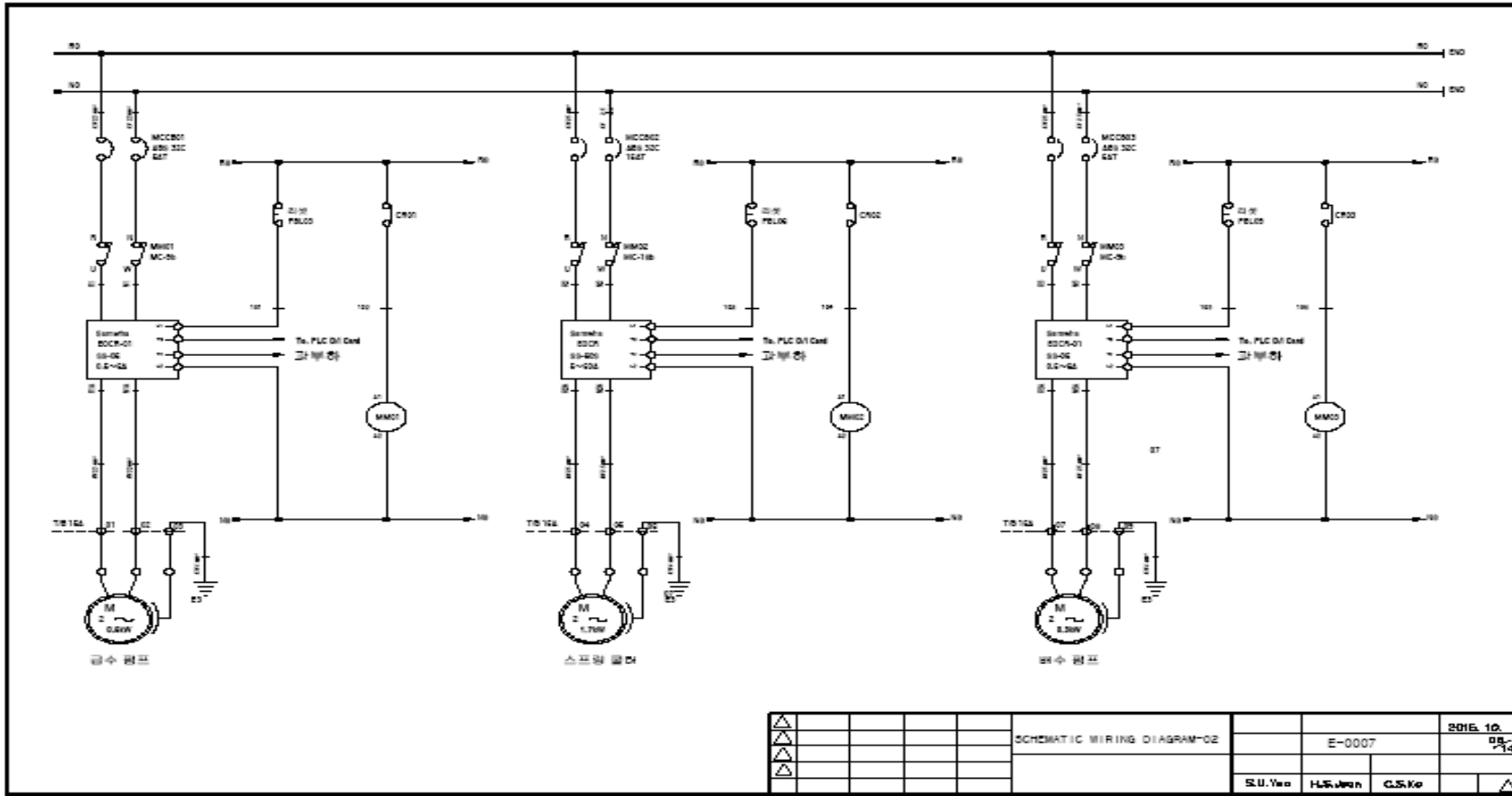
가동시간 버튼을 누르면 가동시간 설정 창이 실행되어진다. 원하는 시간을 입력하면 된다.

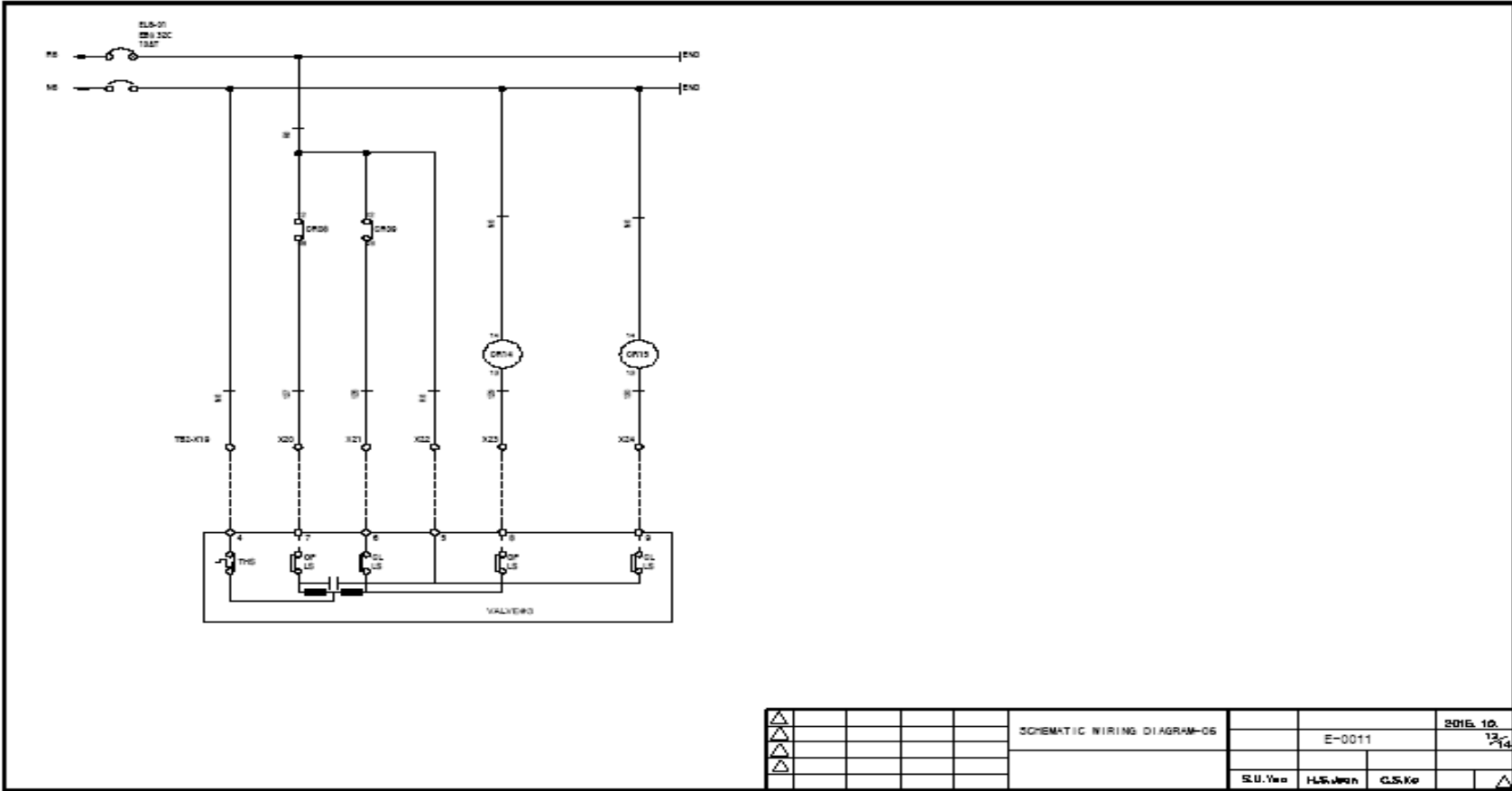


그림 2.4.11 스프링쿨러 가동시간 기능 화면



| | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|---------------------------|----------|-----------|-----------|
| △ | | | | | PLC CONFIGURATION DIAGRAM | | E-0005 | 2016. 10. |
| △ | | | | | | | | 08 |
| △ | | | | | | S.U. Yeo | H.S. Jhon | C.S. Ko |





| | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|-----------------------------|---------|-----------|-----------|
| △ | | | | | | SCHEMATIC WIRING DIAGRAM-06 | | | 2016. 10. |
| △ | | | | | | | | E-0011 | 1/2 |
| △ | | | | | | | | | 2/4 |
| | | | | | | | SLI.Yeo | H.S. Park | C.S. Ko |

4. 스마트 토양수분 감시제어 시스템 구축

4.1 개요

작물의 생육에 있어 최적의 토양 수분 조건을 유지해주는 자동 원격 시스템을 목표로 하며 테스트 베드 및 대조 구역을 두고 각각 토양 수분 센서 및 제어시스템을 설치하여 원격 감시 및 제어가 가능해야하며 데이터 수집이 용이하여야 한다.

본 문은 스마트 토양수분 제어시스템에 대한 것으로 PLC래더 구성 및 감시, HMI 조작제어, 데이터 수집, Application에 대한 내용을 포함하고 있으며, 동작함에 있어 PLC, HMI, 서버는 항상 활성화 되어 있어야 함을 전제로 한다.

스마트 토양수분 제어시스템 구성은 아래 그림 과 같다. 원격소(가정 OR 사무실) 내에 서버 컴퓨터와 LTE 모뎀을 설치하며, 실제 토양수분 센서가 설치되어 있는 곳에 제어시스템을 두고 제어함 내부에 PLC 및 터치패널을 설치하고 원격소와 통신을 위한 LTE 모뎀을 두었다. 또한 모바일로 제어할 수 있는 어플리케이션도 개발하였다.

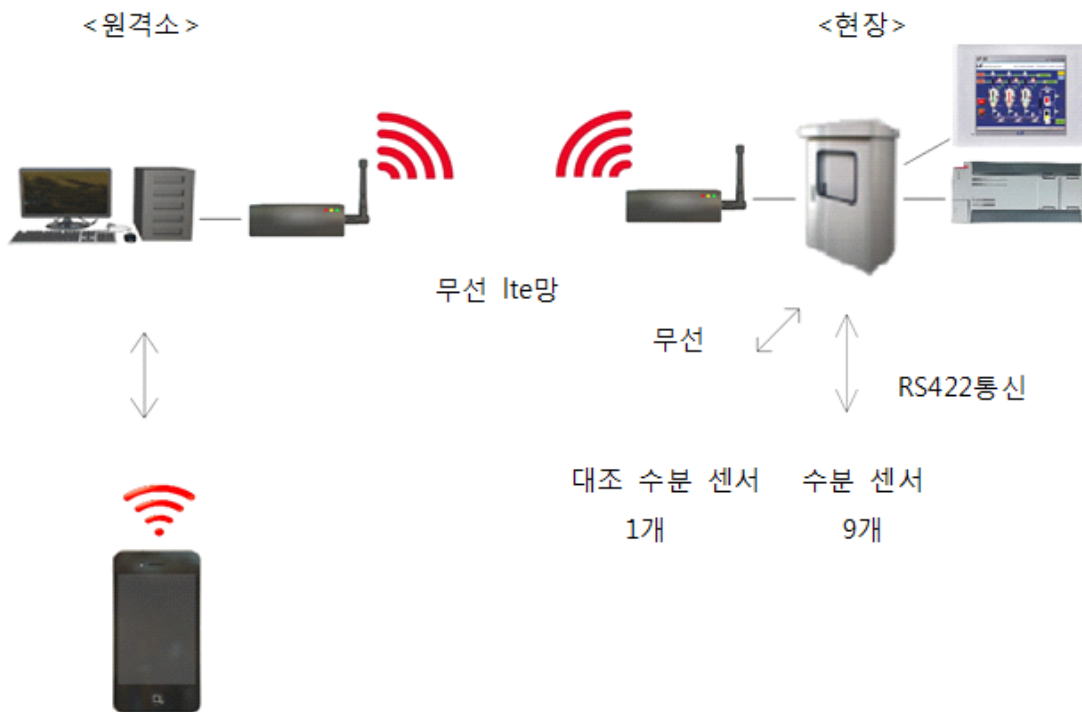


그림 2.4.12 스마트 토양수분 제어시스템 구성도

토양 수분의 데이터를 수집 비교하기 위해 현장에서 구역은 총 3구역으로 나누었다. 테스트 베드구역 1개 대조군 2개로 총 3구역으로 나뉘며 테스트 베드 구역에는 스프링클러를 설치하여 토양수분에 따른 제어가 가능하게 구성하였다. 대조군에는 기존에 농민이 사용하던 방식으로 사용하면서 비교하였다. 또한 수분 데이터를 수집 및 비교하기 위해 한구역당 센서 3개씩 총 9개의 센서를 유선통신 방식인 RS422으로 설치가 되어 있으며 테스트 베드 쪽에는 센서 비교를 위해 무선 통신 방식의 다른 종류의 토양 수분 센서 1개 더 추가로 설치하였다.



그림 2.4.13 스마트 토양수분 제어시스템 토양수분 센서 테스트

4.2 프로그램 구성 및 설명

가. PLC프로그램 래더

아래 프로그램 그림에서처럼 급수 펌프는 급수 탱크 알람이나 과부하 알람이 뜨면 동작하지 않는다. 펌프가 수동동작 시에는 급수 펌프 과부하 알람이 뜨거나 급수 탱크에서 고수위 알람이 발생하여 더 이상 물을 채울 필요가 없을 때 또는 정지 버튼을 눌렀을 때 작동이 멈추며, 자동 상황에서는 급수탱크가 저수위 일 때 펌프가 동작하며 멈추는 조건은 수동과 같이 급수 펌프가 과부하이거나 급수탱크가 고수위가 되면 동작을 멈춘다. 원격이나 현장이나 자동 수동 동작 조건은 같다.



그림 2.4.14 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 1

스프링클러 펌프의 수동 동작은 운전 버튼을 누르면 동작하고 정지 버튼을 누르거나 펌프 과부하 알람이 들어오면 정지한다. 자동 동작은 수분_LOW알람이 나타나고 자동운전_지연이 아니면서 펌프 과부하가 없다면 멈추지 않는다. 급수 펌프와 마찬가지로 원격, 현장의

자동 수동 운전 조건은 같으며 수분_LOW 및 자동운전_지연에 대해서는 래더를 차례대로 설명하면서 조건이 나오는 부분에서 자세히 설명하도록 하겠다.

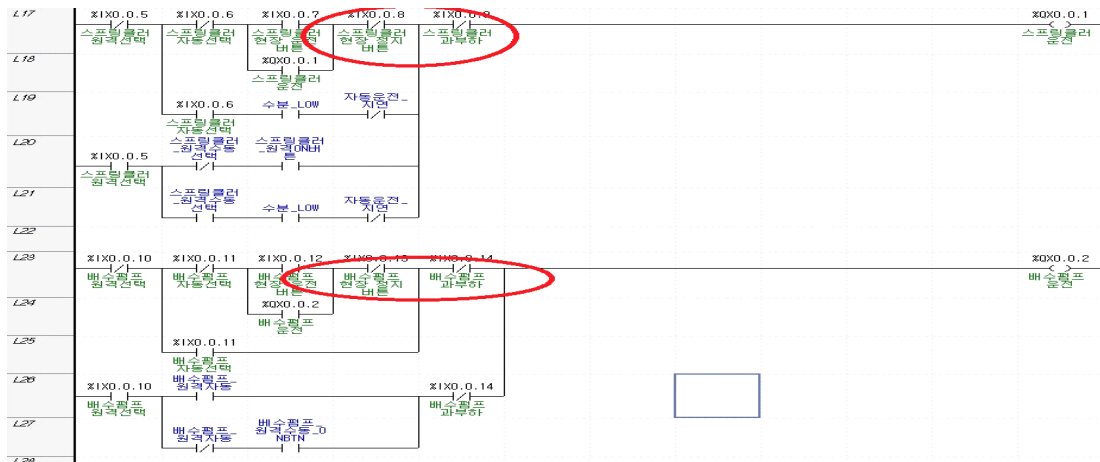


그림 2.4.15 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 2

배수펌프의 수동 동작은 운전버튼일 때 동작하며 정지 버튼을 누르거나 과부하 알람이 나타나면 정지한다. 배수펌프 또한 원격, 현장의 자동 수동 동작 조건은 같다.

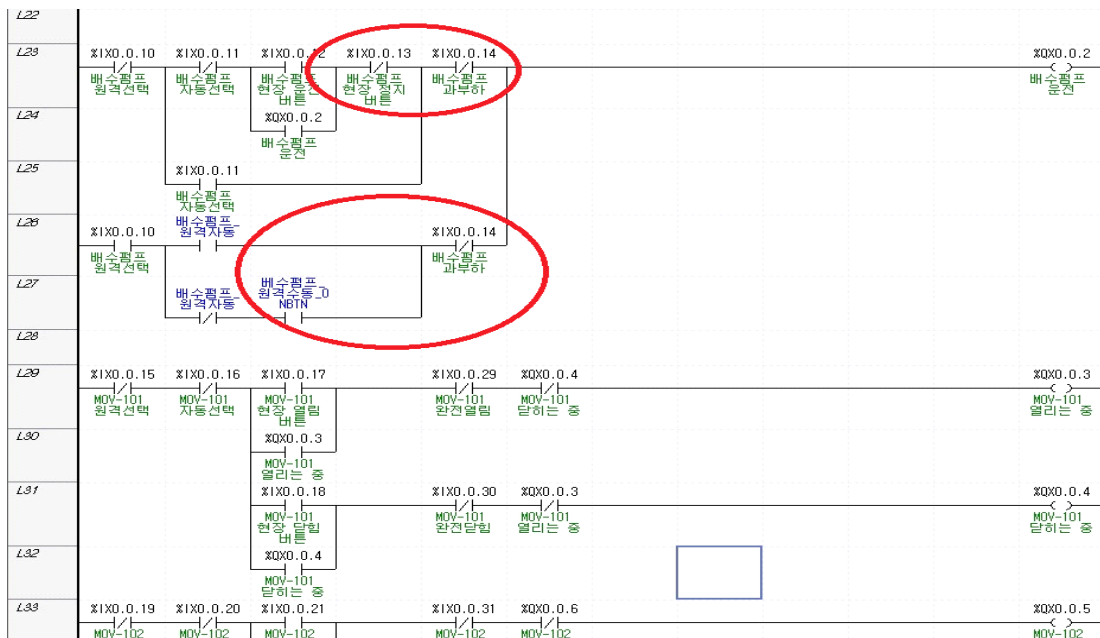


그림 2.4.16 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 3

밸브의 동작은 간단하게 되어 있다. 열림 버튼을 누르면 열리고 닫힘 버튼을 누르면 닫힌다.

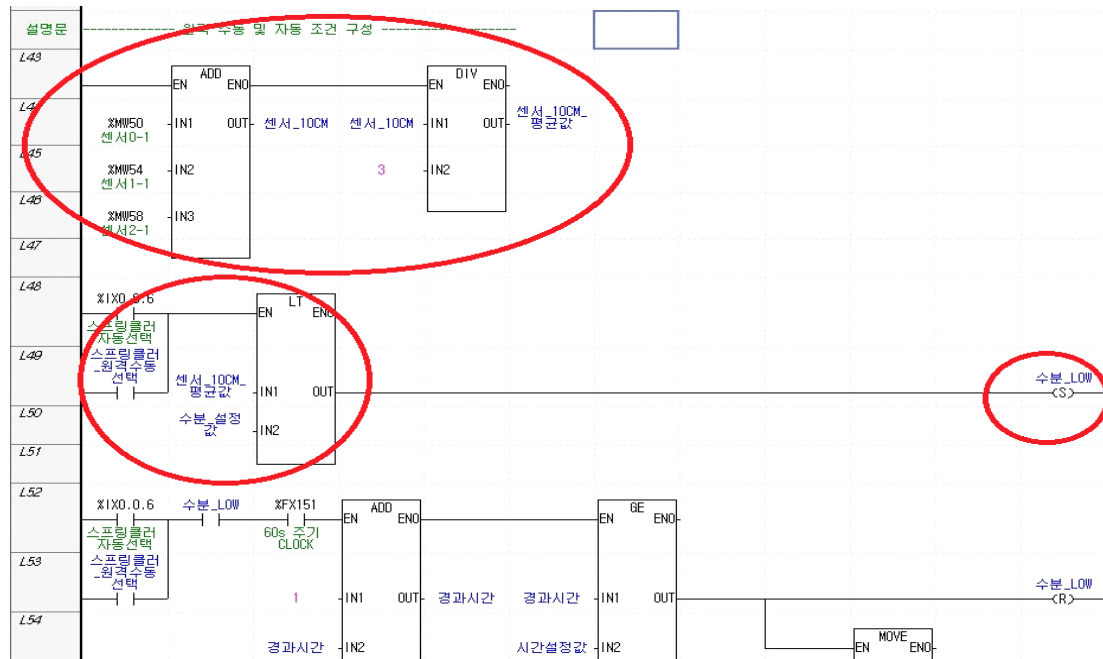


그림 2.4.17 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 4

위 래더는 사용자가 실제 보게 될 수분 값으로 평균값을 구하는 과정이다. 센서1,2,3의 20cm 값을 더해 3으로 나눈 수분 평균값을 사용자가 설정한 수분 값과 비교하여 수분_LOW인지 판단을 하는 래더이다.

다음 두 래더는 스프링클러 자동 운전에 관련된 래더이다. 우선 아래 래더를 보면 스프링클러 자동 운전을 선택하면 수분_LOW, 자동운전_지연이면 안된다. 이 두 조건은 스프링클러가 사용자가 설정한 수분 값 보다 평균 수분 값이 더 낮을 시 동작 하게 하고, 한번 동작 후 수분이 설정한 수분 값 보다 낮더라도 계속해서 펌프가 작동하는 것을 방지하기 위한 것으로 한번 동작 후 수분이 더 낮더라도 24시간이후 동작할 수 있게 하기 위함이다.

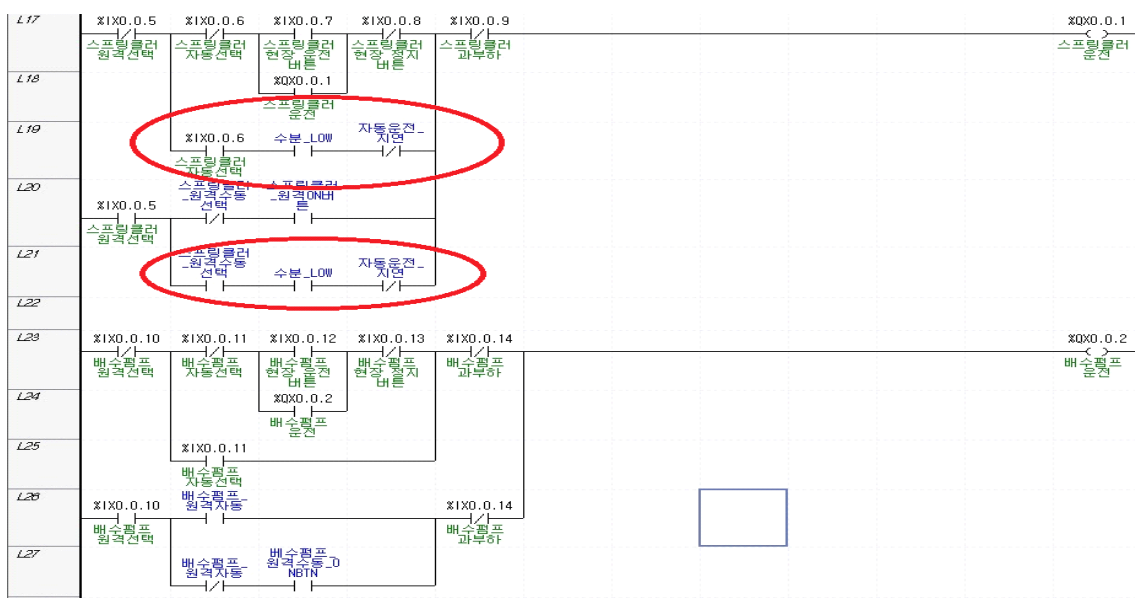


그림 2.4.18 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 5

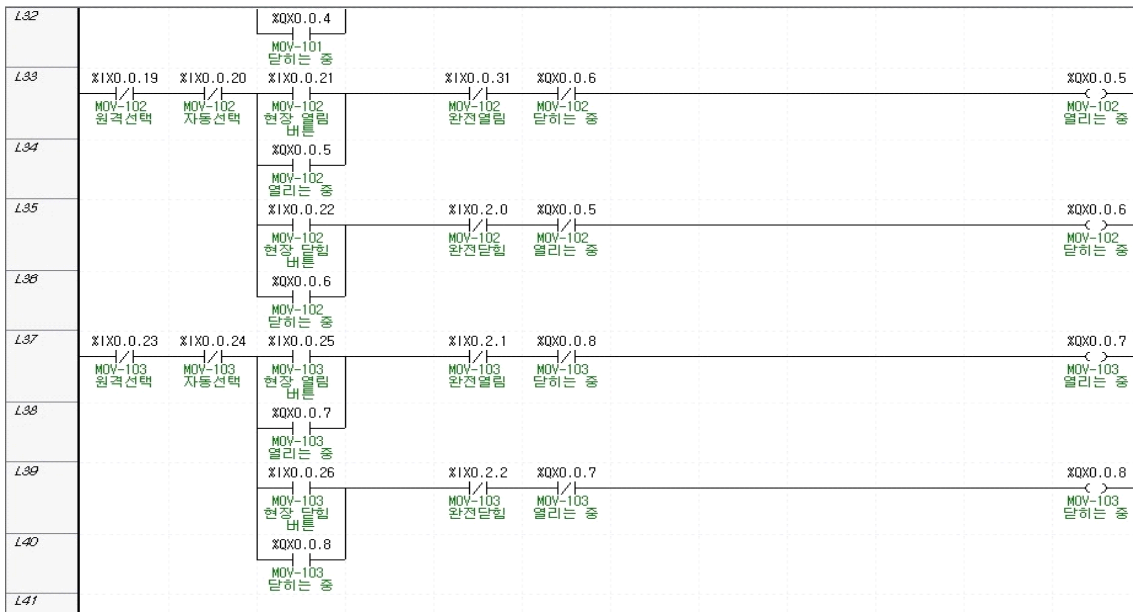


그림 2.4.19 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 6

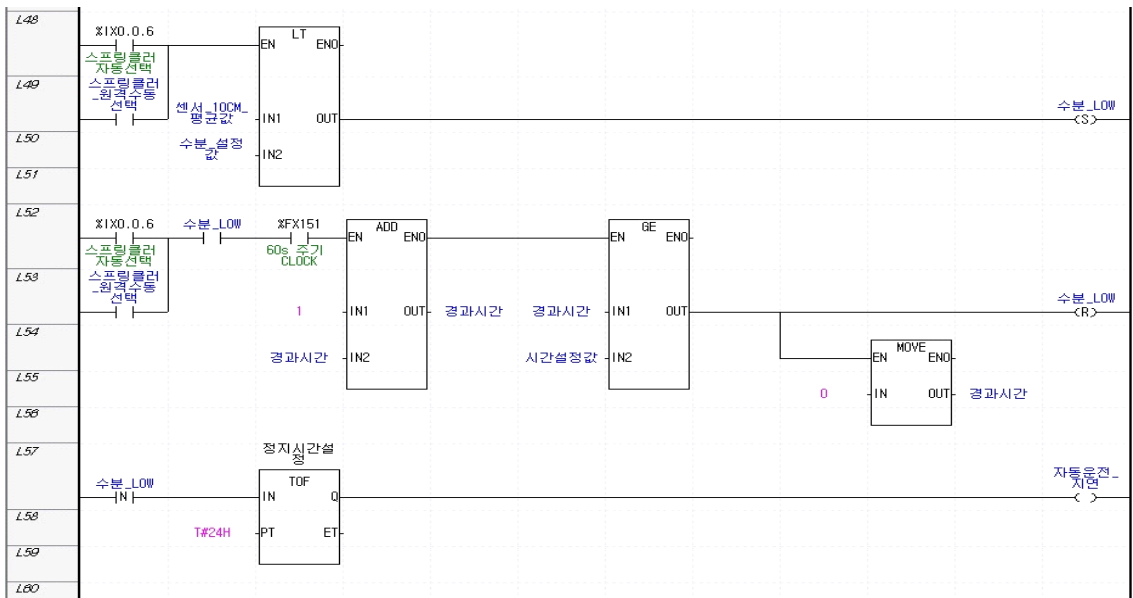


그림 2.4.20 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 7

우선 1구역(테스트 베드)의 20CM 깊이 센서 3개의 평균값이 설정한 평균값 보다 낮다면 수분_LOW 알람이 들어온다. 사용자는 설정한 수분 값 외의 시간을 설정하여 수분이 LOW 일시 정해진 시간동안 스프링클러가 동작 하게 할 수 있다. 스프링클러가 동작하여 수분_LOW가 해제되면 다시 평균 수분 값이 설정 수분 값보다 더 낮아지더라도 24시간이 지난 이후 다시 동작한다. 스마트 토양수분 제어시스템 사용자는 Application, HMI에서 수분, 시간은 설정 할 수 있지만 지연 타이머는 PLC에 접속해서 직접 수정을 해주어야 한다.

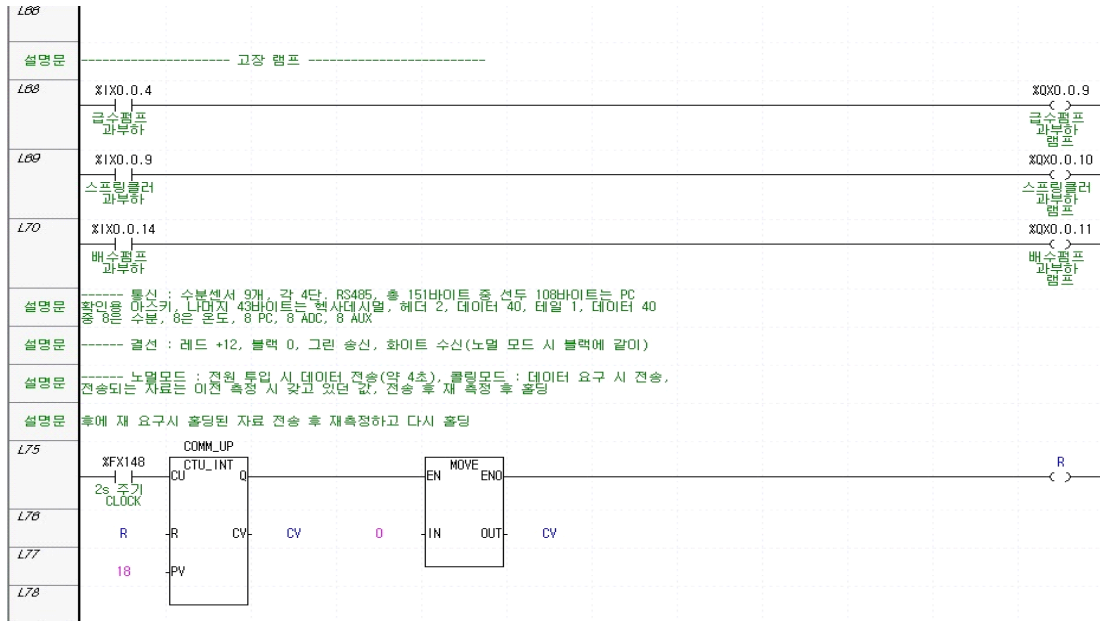


그림 2.4.21 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 8

다음은 센서 9개의 유선 통신 방식 RS422에 대한 프로그램으로 센서는 2초마다 통신을 하며 9개의 센서가 현재 값을 통신하는 시간이 약 18초가 걸린다.

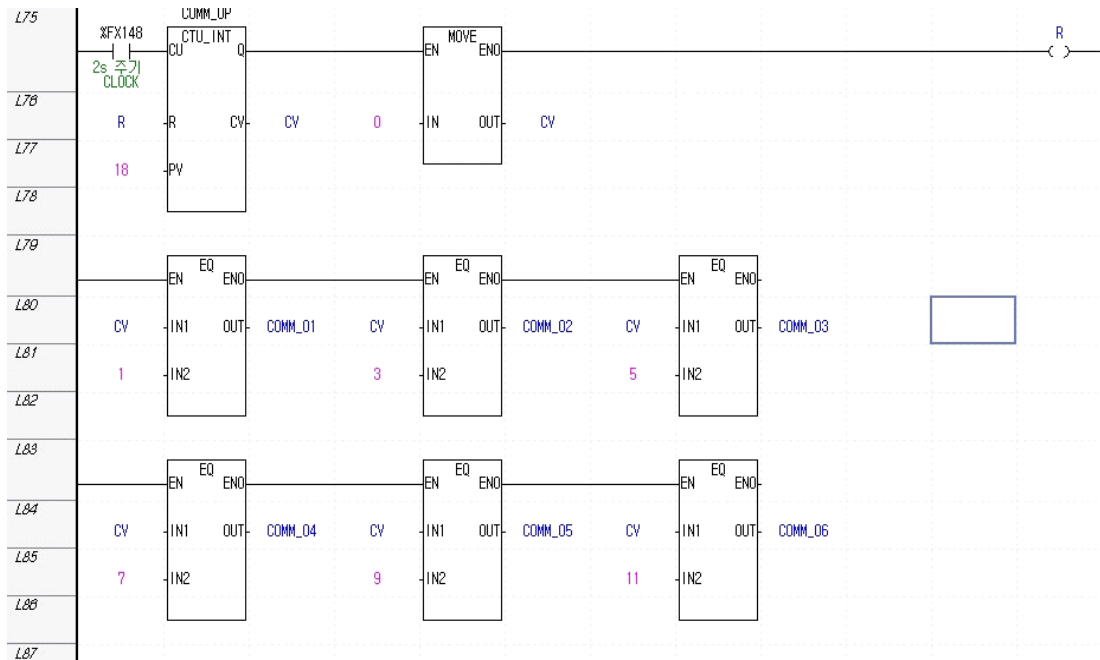


그림 2.4.22 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 9

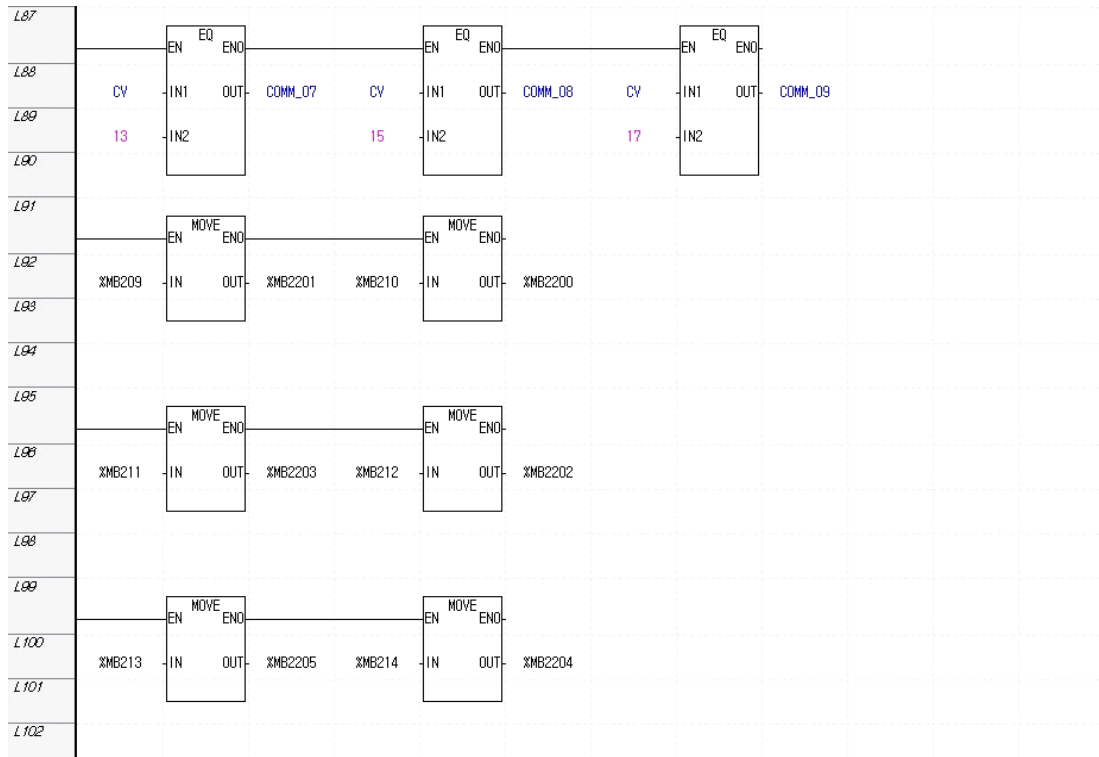


그림 2.4.23 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 10

다음은 센서 통신 이상을 판단하는 하는 래더로 RS422로 연결된 토양 수분 센서 9개의 통신 상태를 체크 할 수 있게 도와준다.

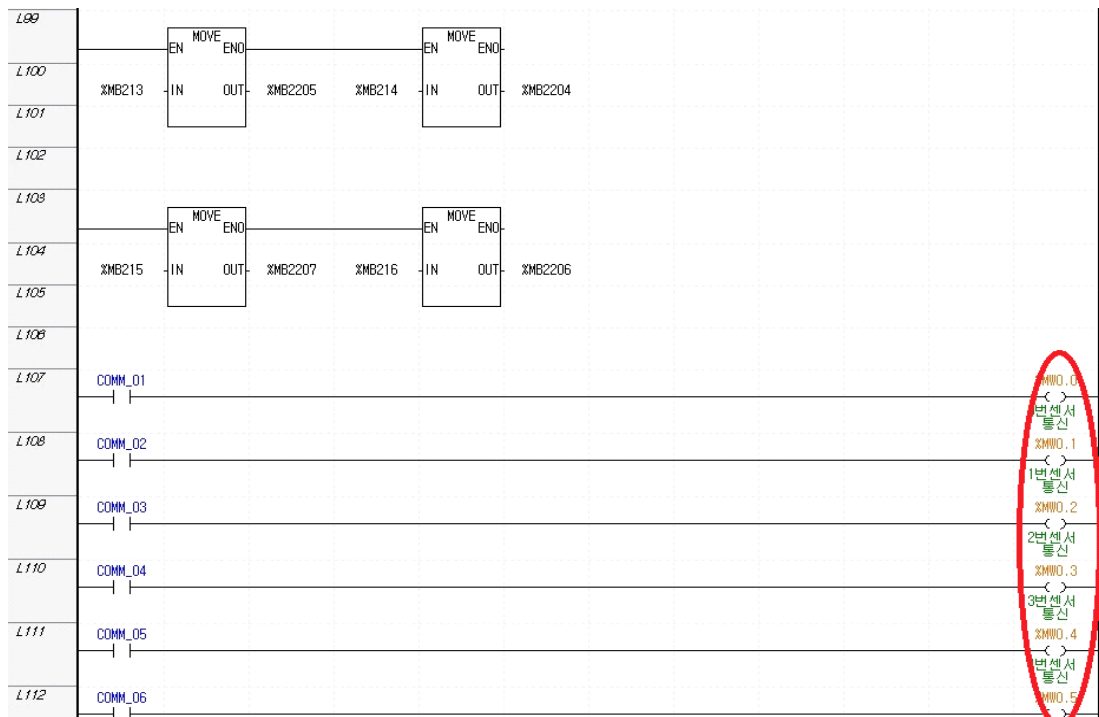


그림 2.4.24 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 11

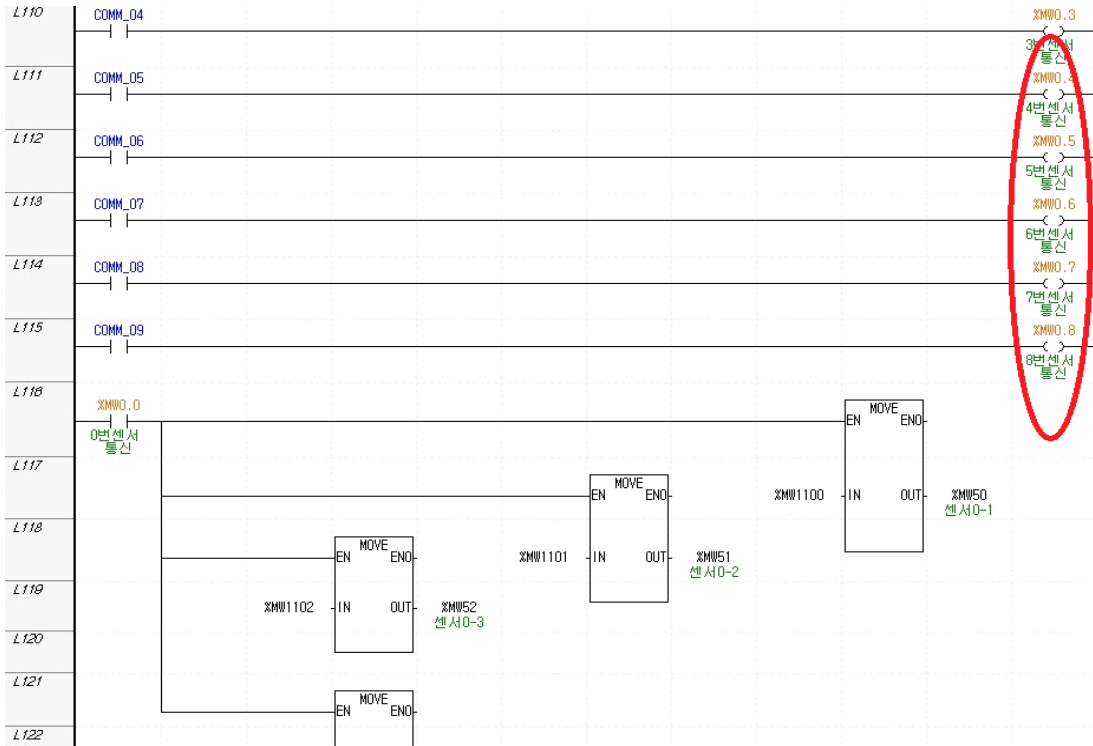


그림 2.4.25 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 12

통신이 될 때 마다 센서의 10cm, 20cm, 30cm, 40cm 데이터는 다음과 같은 어드레스에 저장된다.

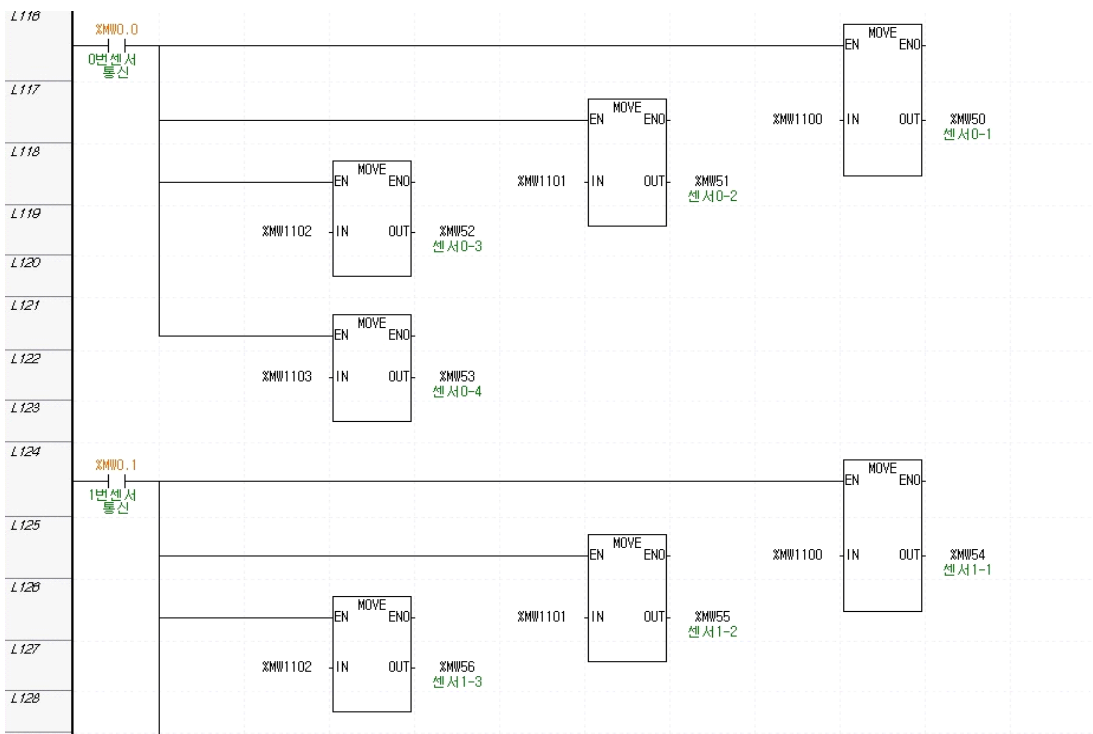


그림 2.4.26 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 13

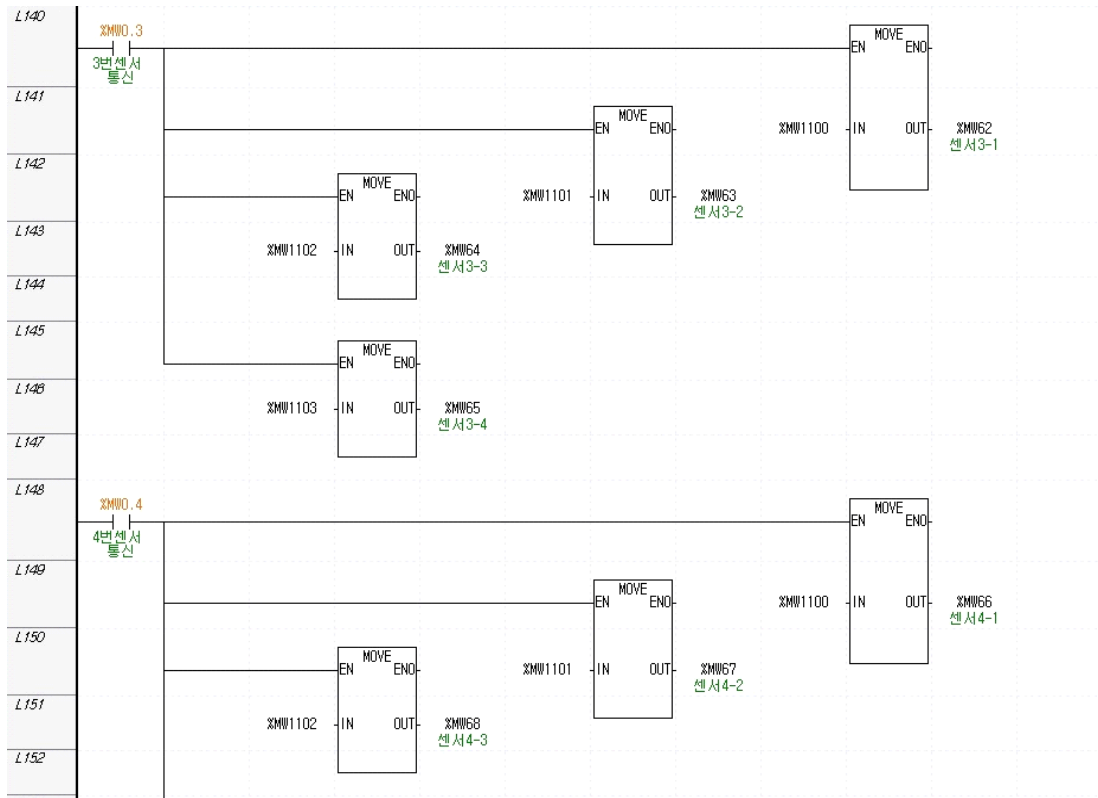


그림 2.4.29 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 16

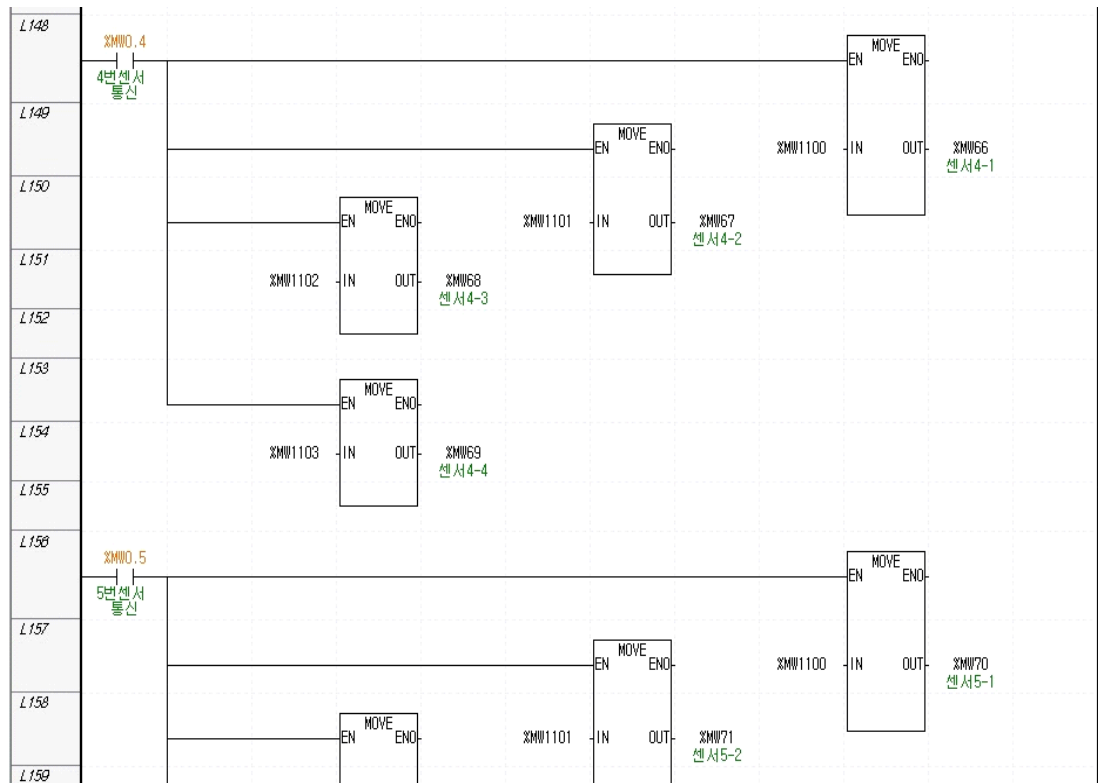


그림 2.4.30 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 17

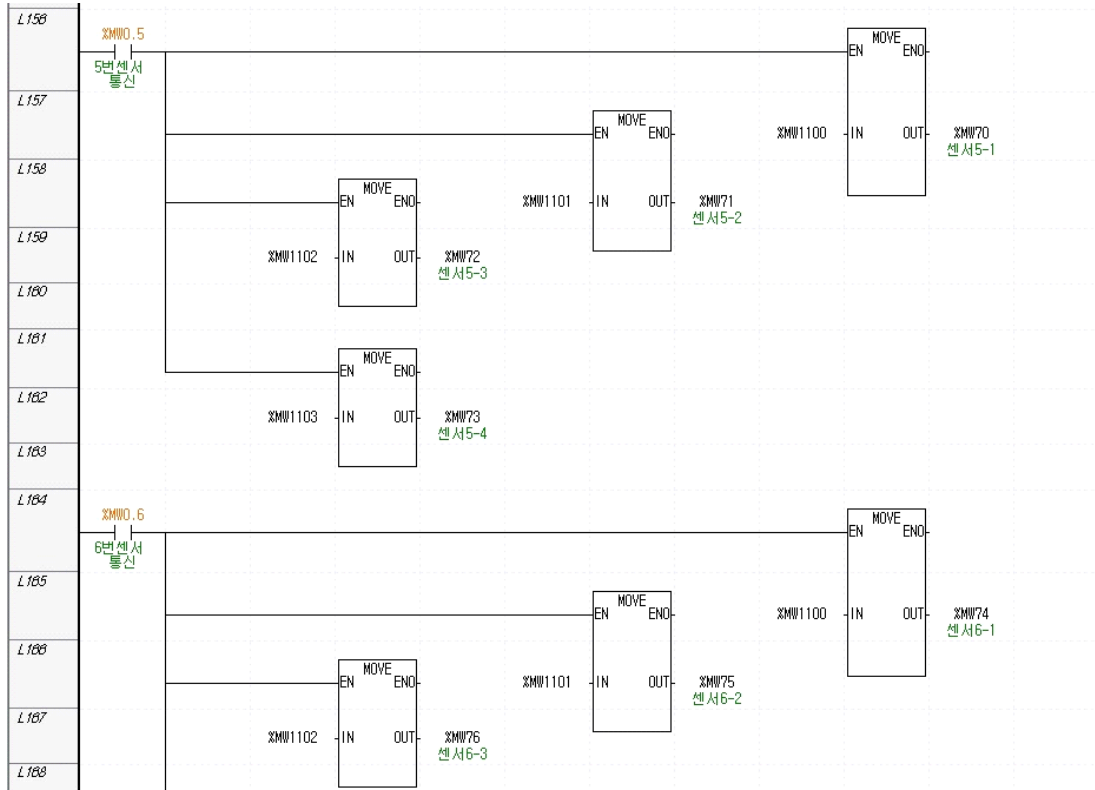


그림 2.4.31 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 18

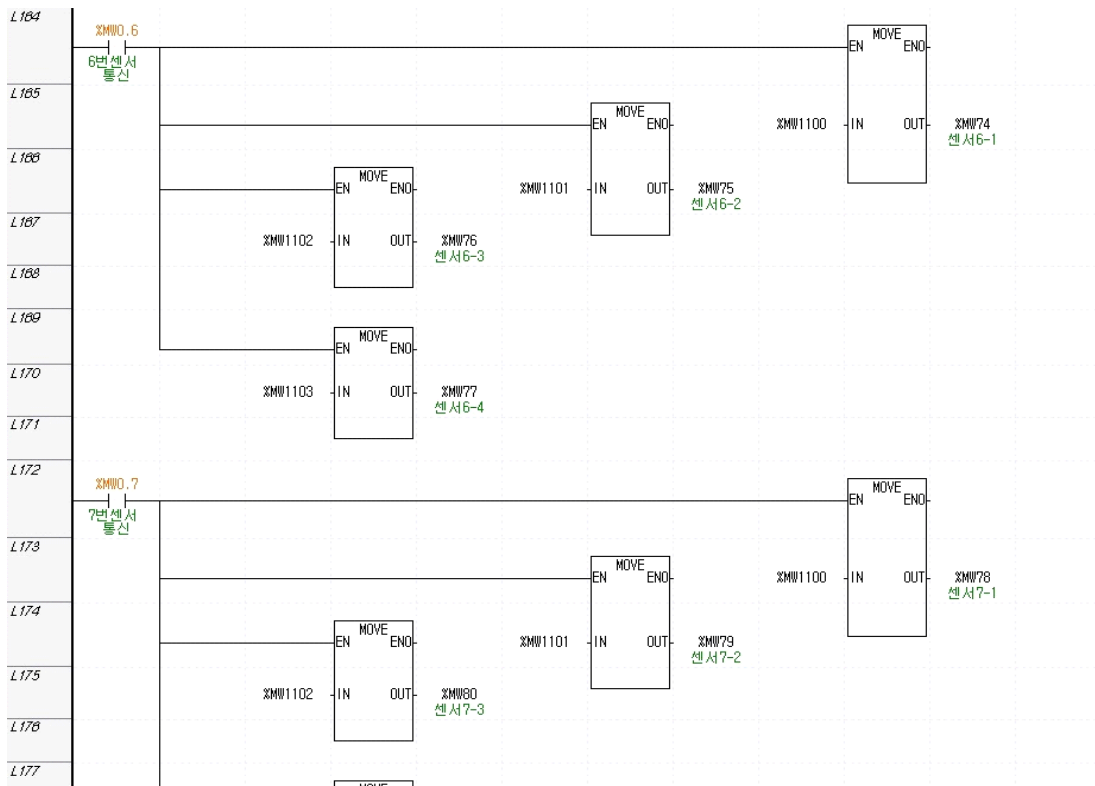


그림 2.4.32 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 19

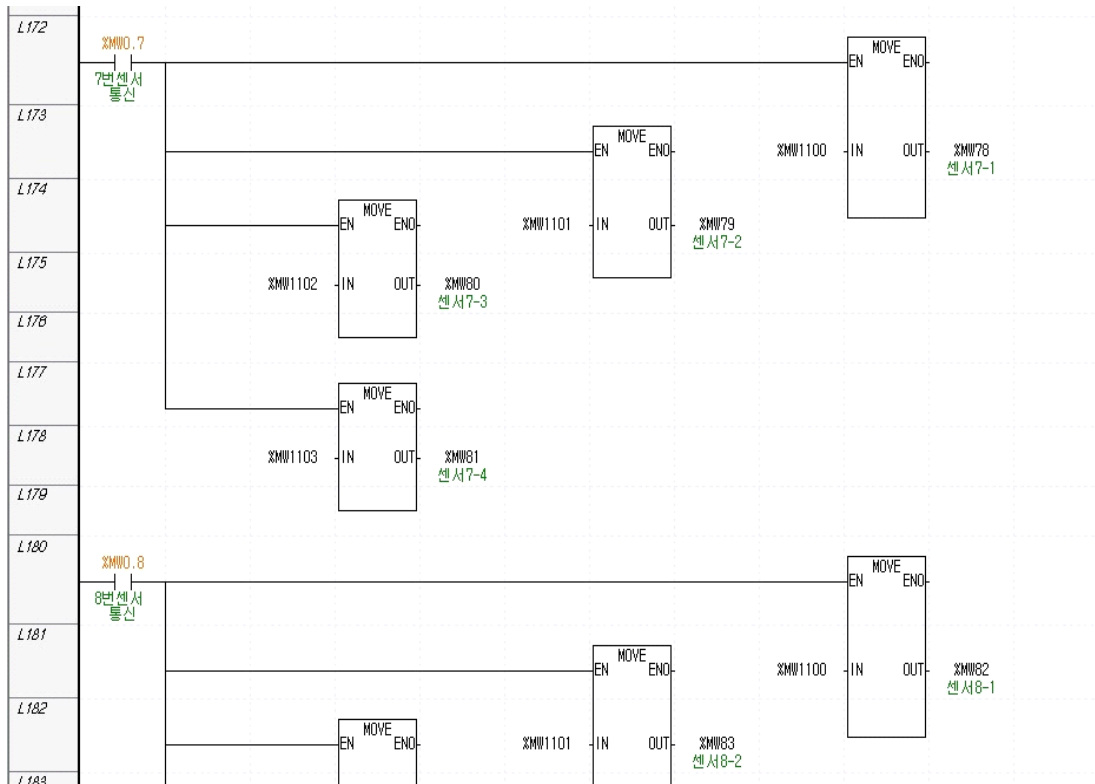


그림 2.4.33 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 20

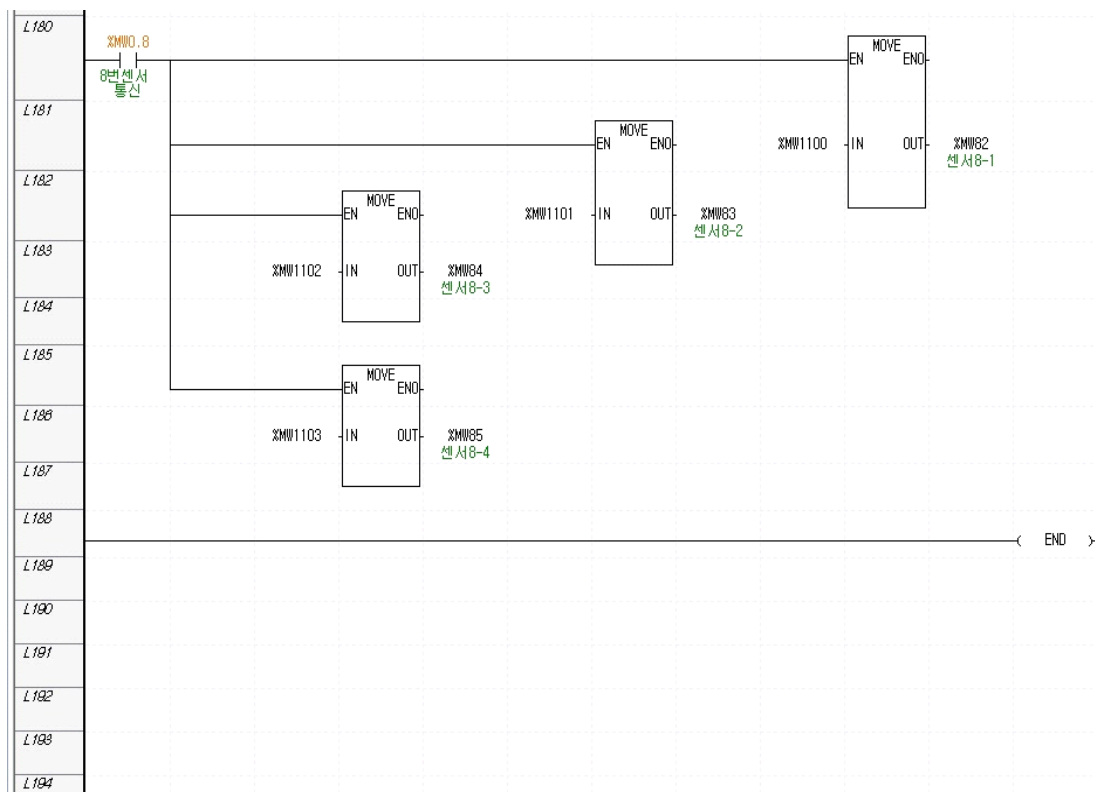


그림 2.4.34 스마트 토양수분 제어시스템 프로그램 21

나. 서버

스마트폰의 Application 접속을 위해서는 서버가 켜져 있어야 한다. 우선 서버의 모바일서버를 실행하면 로그인 화면이 나타난다. 로그인 정보를 입력하면 모바일 어플리케이션과 HMI 프로그램도 같이 실행이 된다.

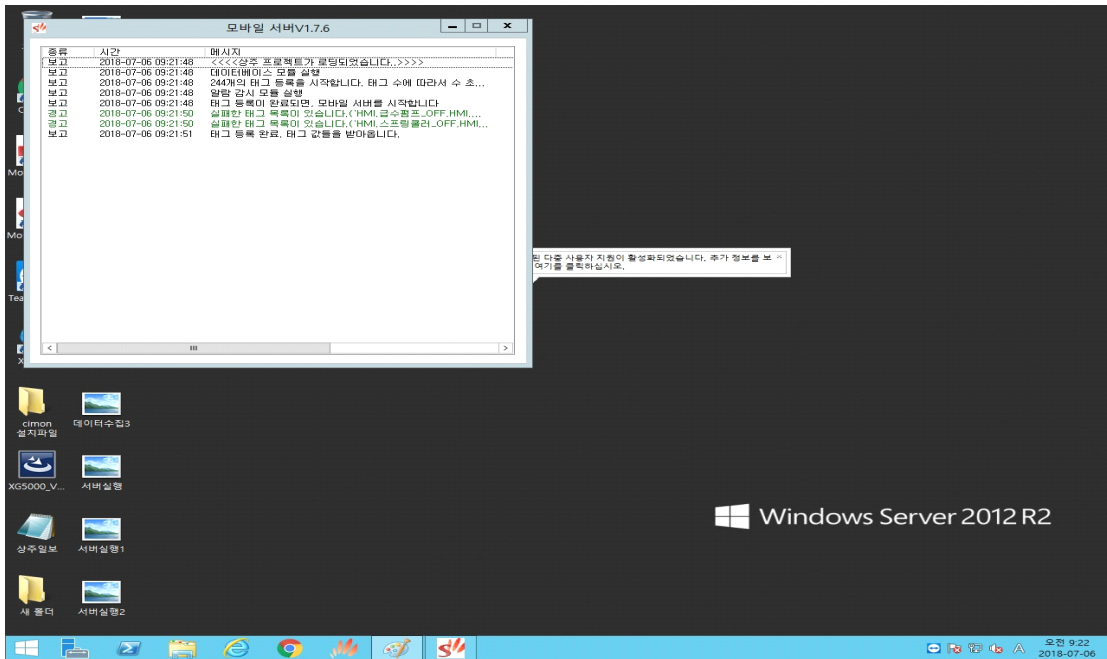


그림 2.4.35 스마트 토양수분 제어시스템 서버실행



그림 2.4.36 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 1

원격소에 설치 되어져 있는 HMI화면은 위 그림과 같다. 현장의 터치스크린과는 다르게 펌프, 밸브 조작 및 설정, 데이터수집, 보고서, 트렌드, 경보감시가 가능하다. 제어는 현장과 원격소간 LTE모뎀의 통신이 원활하게 이루어지며 서버가 항상 켜져 있어야하고 현장 제어 패널에서 셀렉터 조작 스위치가 원격으로 설정되어 있을 것을 전제로 한다. 토양수분량 감시 및 펌프 밸브 상태는 아래 그림 위치에서 각각 확인 가능하다.

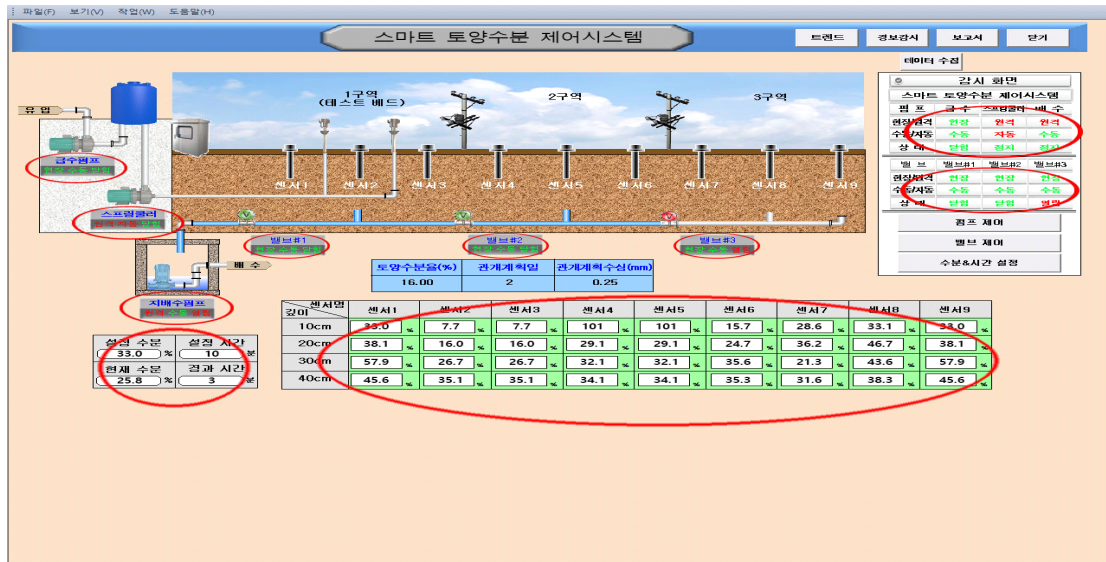


그림 2.4.37 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 2

먼저 펌프 및 밸브 제어는 펌프 제어나 밸브제어를 누르게 되면 펌프는 급수펌프, 스프링클러, 배수펌프 선택창이 뜨고, 밸브는 밸브#1, 밸브#2, 밸브#3이 나타난다. 여기서 다시 제어하고 싶은 것을 선택하면 아래와 같은 화면이 나타난다.



그림 2.4.38 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 3



그림 2.4.39 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 4

제어 창에서는 원격/현장 중 어느 상태인지 수동/자동, 운전/정지 과부하는 없는지 체크할 수 있고 원격으로 설정되어 있을 때 수동/자동 운전 제어가 가능하다. 다음 아래 그림은 현장에서 제어를 한다는 의미이며 현재 급수펌프는 정지 상태이고 다른 문제없이 정상작동 중 이라는 것을 나타낸다.



그림 2.4.40 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 5

수분 및 시간 변경은 아래 위치의 버튼을 클릭하면 되며, 설정된 수분 및 시간은 아래 위치에서 확인 할 수 있다.



그림 2.4.41 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 6



그림 2.4.42 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 7

수분&설정 설정창을 누르고 설정시간이나 설정 수분을 클릭하면 아래 그림과 같은 입력 창이 나타난다.

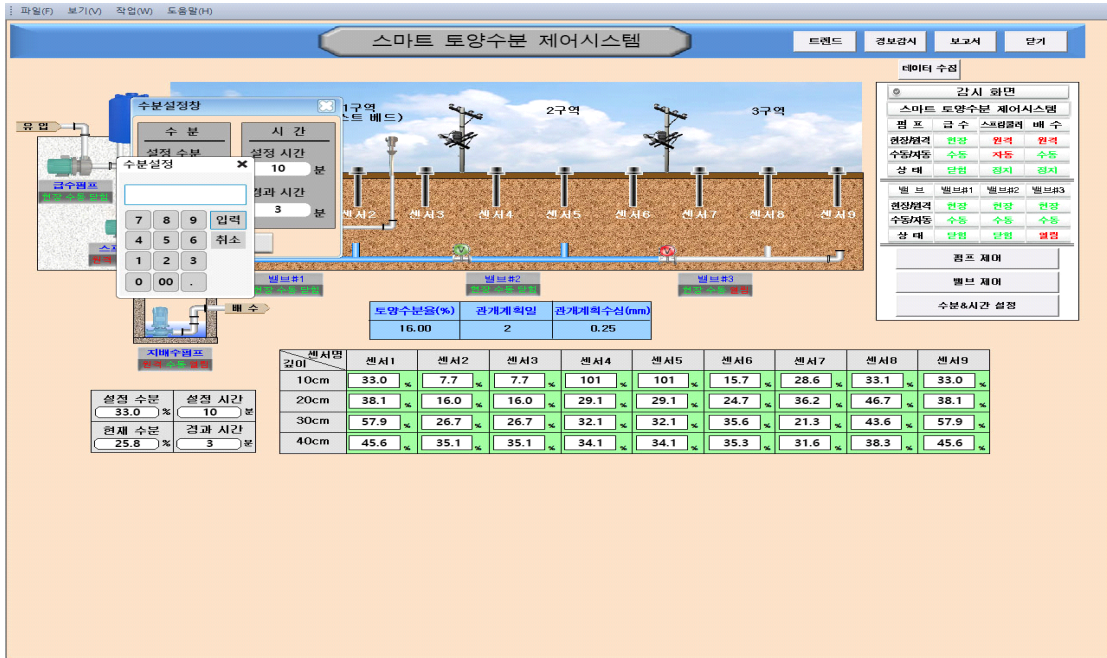


그림 2.4.43 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 8

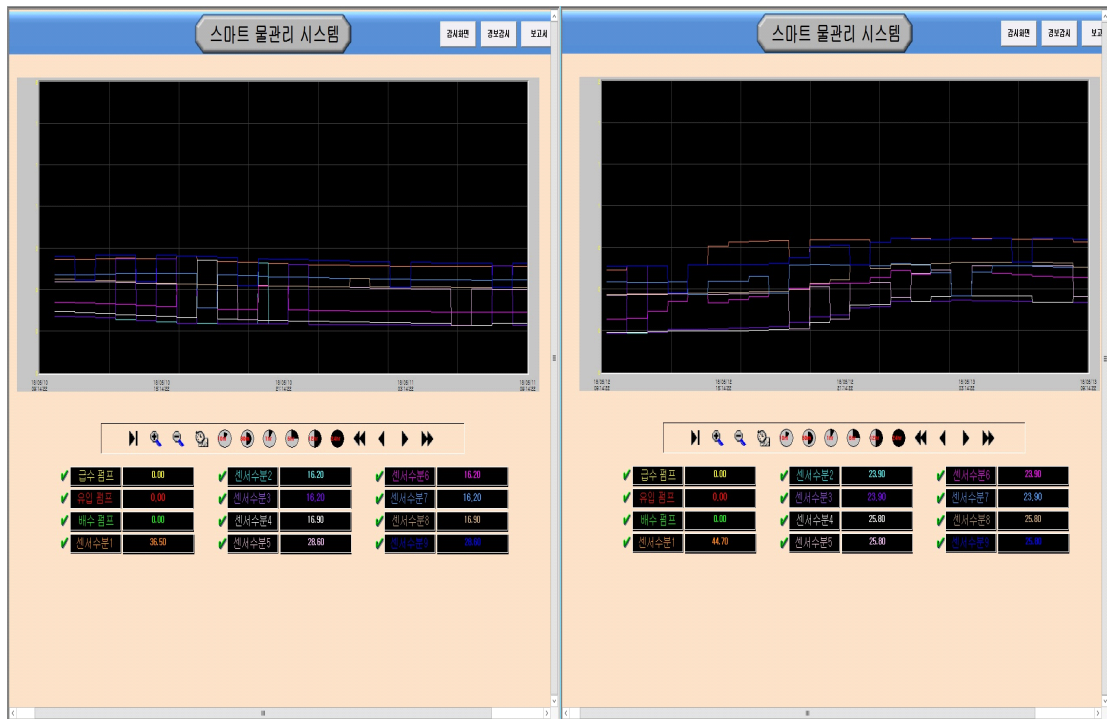


그림 2.4.44 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 9

위 그림처럼 트렌드는 현재나 과거에 동작 또는 쌓인 수분 데이터를 그래프로 확인 가능하다. MAIN화면에서 트렌드 버튼을 클릭하면 다음과 같은 화면이 나타난다.



그림 2.4.45 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 10

MAIN화면에서 경보감시 버튼을 클릭하면 다음과 같은 화면이 나타난다.



그림 2.4.46 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 11

MAIN화면에서 보고서 버튼을 클릭하면 다음과 같은 화면이 나타난다.



그림 2.4.47 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 12



그림 2.4.48 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 13

위 그림처럼 보고서를 클릭하면 위와 같이 그 동안 저장된 데이터 보고서를 선택하여 열어 볼 수 있다. MAIN화면에서 데이터 수집 버튼을 클릭하면 다음과 같은 화면이 나타난다.



그림 2.4.49 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 14

위 그림처럼 보고서와 마찬가지로 그 동안 수집되어진 데이터 파일들이 일별로 생겨나며 선택하여 엑셀 파일로 변환이 가능하며 출력하여 보관할 수 있다. MAIN화면에서 알람은 다음과 같다.

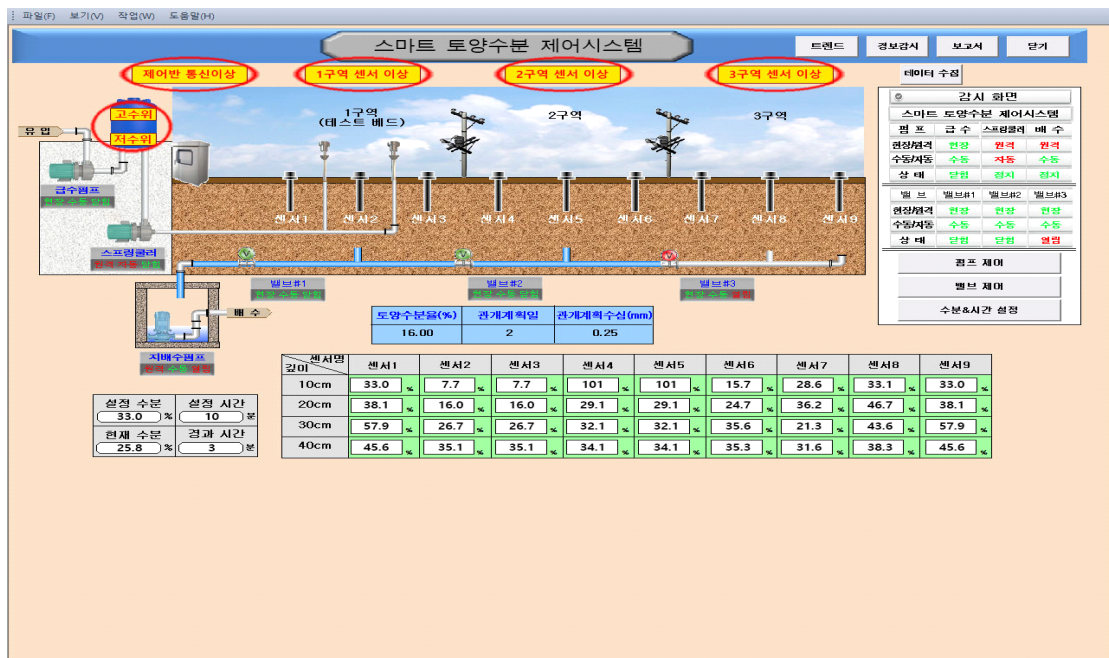


그림 2.4.50 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 15

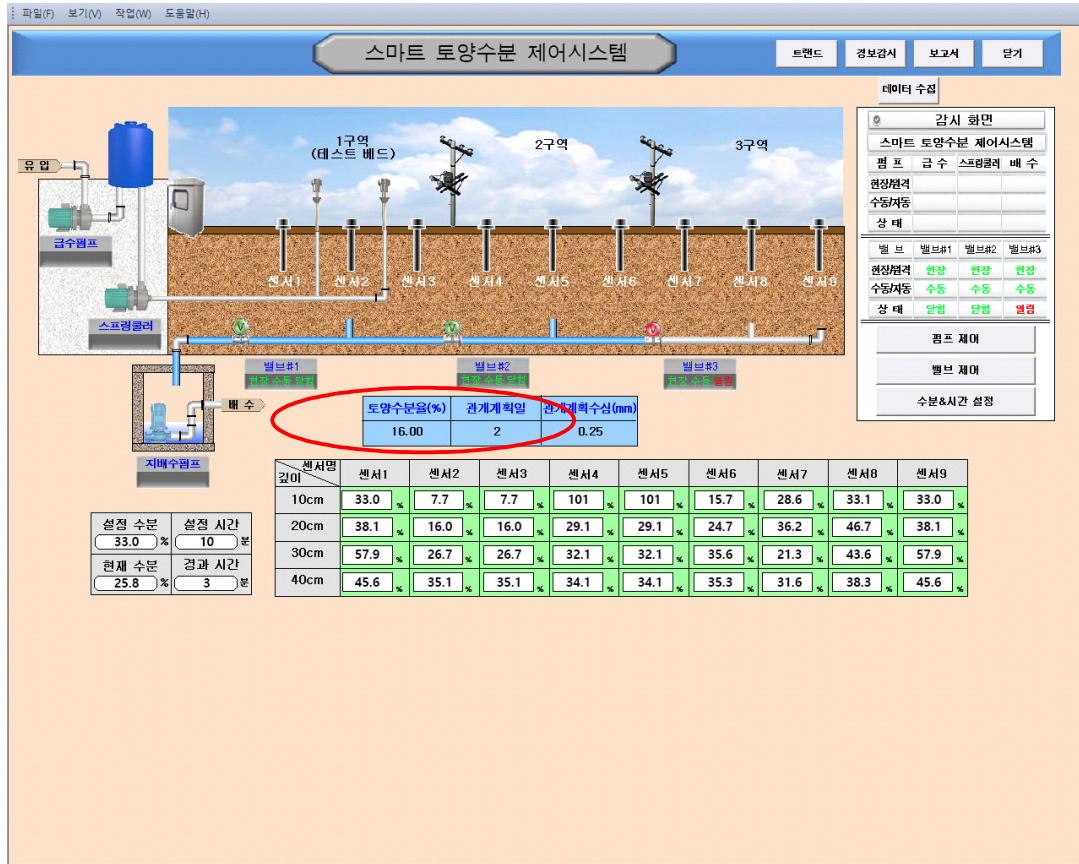


그림 2.4.51 스마트 토양수분 제어시스템 서버 화면 16

토양수분(%)과 관개개시여부, 관개량에 대한 프로그램(토양수분모의 프로그램)결과를 표시할 수 있다. 적절한 시점에 유효한 관개량을 투입하는 목적으로 설계되었으며, 작물재배정보와 농경지 토양정보, 그리고 기상예보정보를 바탕으로 일별 토양수분 모의를 통해 관개시기와 관개량을 도출하는 모의 프로그램 결과 등을 도출하며, 이 내용을 바탕으로 사용자에게 판단할 수 있는 정보를 제공하는 항목이다.

다. 스마트 토양수분 감시제어 시스템 Application

표 2.4.1 Application 설정 1

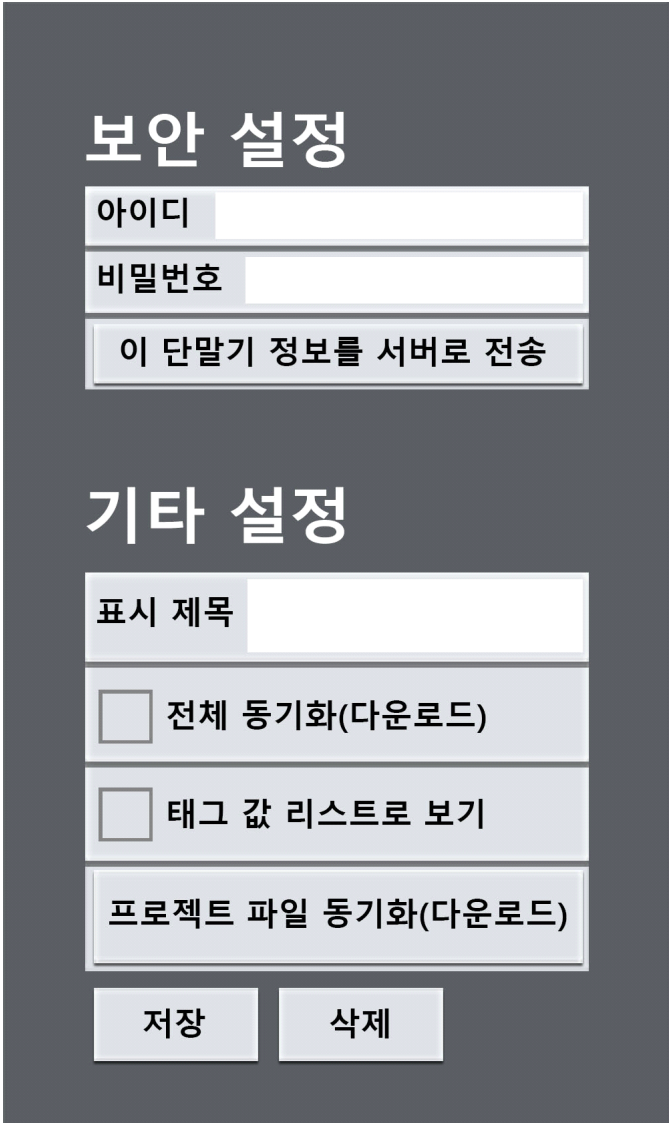
| 화면명 | 스마트 토양수분 감시제어 시스템 보안 및 로그인 설정 |
|------|--|
| 화면 |  |
| 화면설명 | <p>스마트폰으로 원격 제어&감시가 가능 하며, 다음과 같은 Application의 설치&설정이 필요하다. 실행 시키면 위와 같은 화면이 뜨며 설정을 위해 보안설정 및 기타설정을 하여 서버 항목을 활성화 시킨다.</p> |

표 2.4.2 Application 설정 2

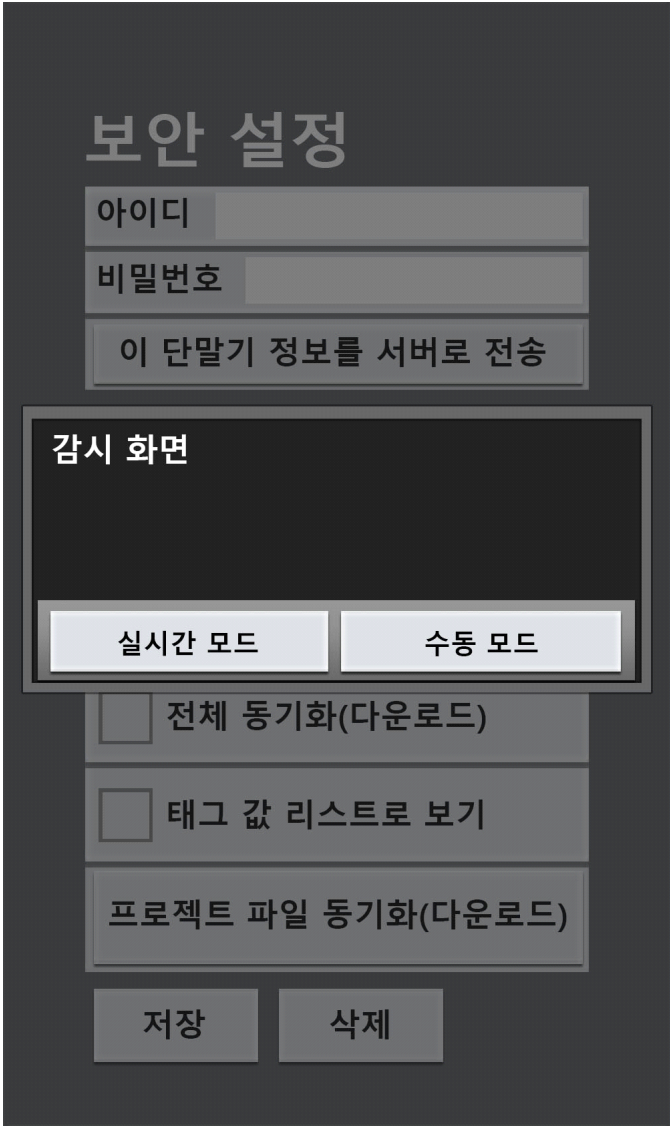
| | |
|-------------|---|
| <p>화면명</p> | <p>스마트 토양수분 감시제어 시스템 감시 및 수동모드 설정</p> |
| <p>화면</p> |  |
| <p>화면설명</p> | <p>보안 및 로그인 정보를 입력하면 실시간 감시와 수동으로 조작할 수 있는 설정창이 표시된다.</p> |

표 2.4.3 Application 설정 3

| | |
|-------------|--|
| <p>화면명</p> | <p>스마트 토양수분 감시제어 시스템 Application 메인화면 1</p> |
| <p>화면</p> |  <p>The image shows the main screen of the 'Smart Soil Moisture Control System' application. The background is a scenic view of a green field under a blue sky with white clouds. At the top, there are two icons: a circuit-like symbol on the left and a gear symbol on the right. In the center, the title '스마트 토양수분 제어시스템' (Smart Soil Moisture Control System) is displayed in white Korean text. Below the title, there are four large, rounded square buttons arranged in a 2x2 grid. Each button has a white icon and Korean text below it: <ul style="list-style-type: none"> Top-left: Gear icon, text '환경설정' (Environment Settings) Top-right: Gauge with a water drop icon, text '수분센서' (Moisture Sensor) Bottom-left: Pump icon, text '펌프제어' (Pump Control) Bottom-right: Valve icon, text '벨브제어' (Valve Control) </p> |
| <p>화면설명</p> | <p>표 2.4.2에서 수동 모드로 접근 시 나타내어지는 화면구성이다. 수분센서 제어, 펌프제어, 벨브제어를 할 수 있는 시작 화면이다.</p> |

표 2.4.4 Application 설정 4


| | |
|-------------|---|
| <p>화면명</p> | <p>스마트 토양수분 감시제어 시스템 Application 메인화면 2</p> |
| <p>화면</p> |  <p>The image shows a mobile application interface for a smart soil moisture control system. At the top, there is a green header bar with a circuit icon on the left, the text '스마트 토양수분 제어시스템' in the center, and a gear icon on the right. Below the header, there are two data cards: '현재 수분(%)' (Current Moisture (%)) with a value of 25.8, and '경과 시간(분)' (Elapsed Time (min)) with a value of 3. In the center, there are four control buttons arranged in a 2x2 grid: '환경설정' (Environment Settings) with a gear icon, '수분센서' (Moisture Sensor) with a sensor icon, '펌프제어' (Pump Control) with a pump icon, and '밸브제어' (Valve Control) with a valve icon. The bottom of the screen has a solid green bar.</p> |
| <p>화면설명</p> | <p>표 2.4.2 에서 실시간 모드로 접근 시 나타나는 화면구성이다. 현재 수분 값과 설정된 수분 값에 대해서 스프링클러가 작동되고 있는 시간을 나타내고 있다. 수동모드와 마찬가지로 수분센서, 펌프제어, 밸브제어도 가능하다.</p> |

표 2.4.5 Application 설정 5

| | |
|-------------|--|
| <p>화면명</p> | <p>스마트 토양수분 감시제어 시스템 메인화면(태그 값)</p> |
| <p>화면</p> |  <p>The screenshot shows the main interface of the Smart Soil Moisture Control System. At the top, there is a green header with a white icon of a water tap and the text '스마트 토양수분 제어시스템' (Smart Soil Moisture Control System) next to a gear icon. Below the header, a central blue button reads '수분 & 시간 설정' (Moisture & Time Setting). Underneath, there are four data cards arranged in a 2x2 grid. The top-left card shows '설정 수분(%)' (Set Moisture (%)) with a value of 33.0. The top-right card shows '현재 수분(%)' (Current Moisture (%)) with a value of 25.8. The bottom-left card shows '설정 시간(분)' (Set Time (min)) with a value of 10. The bottom-right card shows '경과 시간(분)' (Elapsed Time (min)) with a value of 3. The background is a light blue gradient, and there is a green bar at the bottom.</p> |
| <p>화면설명</p> | <p>환경설정에 들어가면 작물성장에 최적인 수분 값을 설정하고 현재 수분에 값에 대해 설정 수분 이하로 내려갔을 때 스프링클러를 가동 하는 시간을 설정할 수 있다. 또한 스프링클러가 작동한 시간도 함께 볼 수 있다.</p> |

표 2.4.6 Application 설정 6

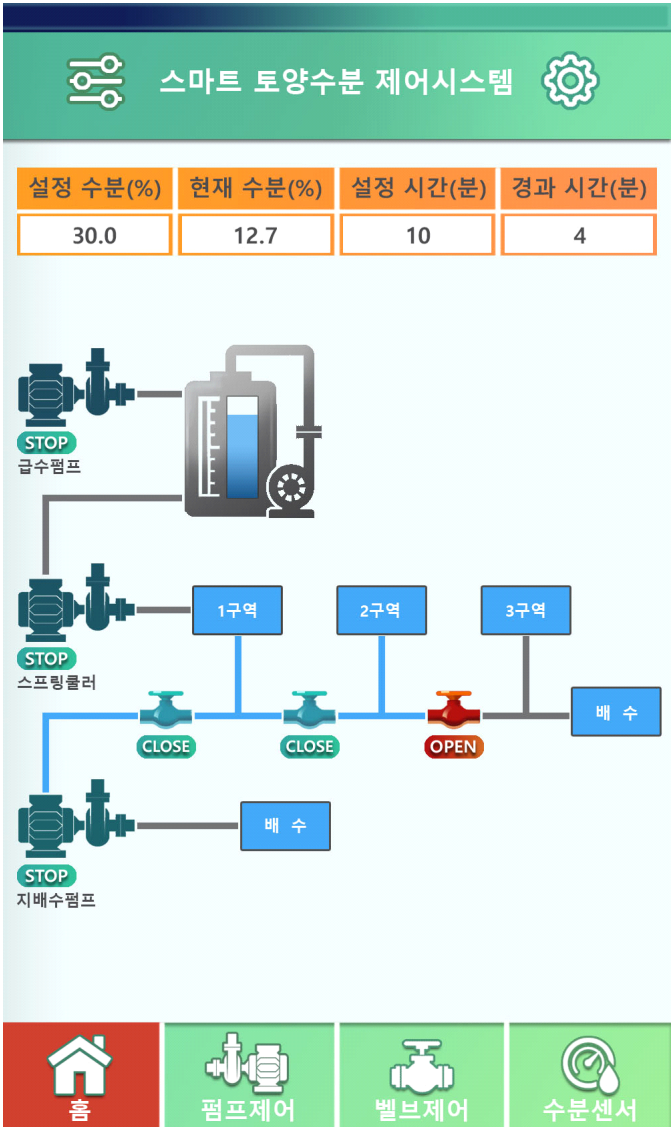
| 화면명 | 스마트 토양수분 감시제어 시스템 전체구성 화면 (작화 화면) | | | | | | | | |
|----------|---|----------|----------|----------|----------|------|------|----|---|
| 화면 |  <p>The screenshot shows the 'Smart Soil Moisture Control System' overview screen. At the top, there is a title bar with a gear icon and the text '스마트 토양수분 제어시스템'. Below this is a data table:</p> <table border="1" data-bbox="555 595 1198 680"> <thead> <tr> <th>설정 수분(%)</th> <th>현재 수분(%)</th> <th>설정 시간(분)</th> <th>경과 시간(분)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30.0</td> <td>12.7</td> <td>10</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table> <p>The main part of the screen is a schematic diagram of the water supply system. It includes three pumps: '급수펌프' (Water Supply Pump) with a 'STOP' indicator, '스프링클러' (Sprinkler) with a 'STOP' indicator, and '지배수펌프' (Drainage Pump) with a 'STOP' indicator. The system is divided into three zones: '1구역' (Zone 1), '2구역' (Zone 2), and '3구역' (Zone 3). There are also '배수' (Drainage) points. The status of valves is shown as 'CLOSE' for the first two zones and 'OPEN' for the third zone. At the bottom, there are four navigation buttons: '홈' (Home), '펌프제어' (Pump Control), '밸브제어' (Valve Control), and '수분센서' (Moisture Sensor).</p> | 설정 수분(%) | 현재 수분(%) | 설정 시간(분) | 경과 시간(분) | 30.0 | 12.7 | 10 | 4 |
| 설정 수분(%) | 현재 수분(%) | 설정 시간(분) | 경과 시간(분) | | | | | | |
| 30.0 | 12.7 | 10 | 4 | | | | | | |
| 화면설명 | <p>전체 구성을 한눈에 볼 수 있는 화면이다. 용수공급을 위한 급수에서부터 각 구역별 스프링클러 공급 및 제어 그리고 밸브류에 대한 제어를 하여 설정수분에 대하여 자동으로 급수 할 수 있는 구성이다.</p> | | | | | | | | |


표 2.4.7 Application 설정 7

| | |
|-------------|---|
| <p>화면명</p> | <p>스마트 토양수분 감시제어 시스템 급수 펌프 자동/수동 설정 화면</p> |
| <p>화면</p> |  <p>The screenshot shows a mobile application interface for a smart soil moisture control system. At the top, there is a header with a gear icon, the text '스마트 토양수분 제어시스템', and another gear icon. Below this is a large red circular icon containing a white pump symbol. The main area is divided into three sections, each with a blue icon of a pump and a label: '급수 펌프' (Watering Pump), '스프링클러 펌프' (Sprinkler Pump), and '배수 펌프' (Drainage Pump). To the right of each pump icon are two toggle switches. For the '급수 펌프', the switches are labeled '수동' (Manual) and '동작' (Operation). For the '스프링클러 펌프', the switches are labeled '자동' (Automatic) and '정지' (Stop). For the '배수 펌프', the switches are labeled '수동' (Manual) and '정지' (Stop). At the bottom, there is a navigation bar with four icons: a house icon labeled '홈' (Home), a pump icon labeled '펌프제어' (Pump Control), a valve icon labeled '밸브제어' (Valve Control), and a water drop icon labeled '수분센서' (Moisture Sensor).</p> |
| <p>화면설명</p> | <p>펌프제어를 위한 화면이다. 스마트폰으로 현장에서 수동으로 전환할 때 사용자 임의로 펌핑을 하여 급수 할 수 있는 화면이다. 자동으로 동작 시키면 설정 수분에 대하여 그 이하로 내려가면 자동으로 스프링클러 펌프를 가동한다.</p> |

표 2.4.8 Application 설정 8

| | |
|-------------|--|
| <p>화면명</p> | <p>스마트 토양수분 감시제어 시스템 벨브 제어 화면</p> |
| <p>화면</p> |  <p>The image shows a mobile application interface for valve control. At the top, there is a green header with a circuit icon, the text '스마트 토양수분 제어시스템', and a gear icon. Below this is a large orange circle containing a white valve icon. The main area features three rows, each representing a valve: '밸브 #1', '밸브 #2', and '밸브 #3'. Each row has a blue valve icon on the left and two control buttons on the right. For '밸브 #1', the buttons are '수동' (Manual) and '동작' (Operate). For '밸브 #2', the buttons are '자동' (Auto) and '정지' (Stop). For '밸브 #3', the buttons are '수동' (Manual) and '정지' (Stop). At the bottom, there is a navigation bar with four icons: a house for '홈' (Home), a pump for '펌프제어' (Pump Control), a valve for '벨브제어' (Valve Control), and a water drop for '수분센서' (Moisture Sensor).</p> |
| <p>화면설명</p> | <p>벨브제어를 위한 화면이다. 스마트폰으로 현장에서 수동으로 전환할 때 사용자 임의로 제어를 하여 급수 또는 정지 할 수 있는 화면이다.</p> |

표 2.4.9 Application 설정 9

| 화면명 | 스마트 토양수분 감시제어 시스템 토양수분 센서 화면 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--|--------|--------|--------|------|------|-----|--------|--------|--------|--------|-----|-------|--------|--------|--------|-----|-------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|--------|--------|
| 화면 |  <p>The screenshot shows a mobile application interface for a smart soil moisture control system. At the top, it displays the system name and a gear icon for settings. Below this, two control boxes show '설정 수분(%)' (Set Moisture) at 33.0 and '설정 시간(분)' (Set Time) at 10. The main part of the screen is a table showing moisture levels for 9 sensors at four different depths (10cm, 20cm, 30cm, 40cm). At the bottom, there are four navigation buttons: '홈' (Home), '펌프제어' (Pump Control), '밸브제어' (Valve Control), and '수분센서' (Moisture Sensor).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>깊이</th> <th>10cm</th> <th>20cm</th> <th>30cm</th> <th>40cm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>센서1</td> <td>33.0 %</td> <td>38.1 %</td> <td>57.9 %</td> <td>45.6 %</td> </tr> <tr> <td>센서2</td> <td>7.7 %</td> <td>16.0 %</td> <td>26.7 %</td> <td>35.1 %</td> </tr> <tr> <td>센서3</td> <td>7.7 %</td> <td>16.0 %</td> <td>26.7 %</td> <td>35.1 %</td> </tr> <tr> <td>센서4</td> <td>10.1 %</td> <td>29.1 %</td> <td>32.1 %</td> <td>34.1 %</td> </tr> <tr> <td>센서5</td> <td>10.1 %</td> <td>29.1 %</td> <td>32.1 %</td> <td>34.1 %</td> </tr> <tr> <td>센서6</td> <td>15.7 %</td> <td>24.7 %</td> <td>35.6 %</td> <td>35.3 %</td> </tr> <tr> <td>센서7</td> <td>28.6 %</td> <td>36.2 %</td> <td>21.3 %</td> <td>31.6 %</td> </tr> <tr> <td>센서8</td> <td>33.1 %</td> <td>46.7 %</td> <td>43.6 %</td> <td>38.3 %</td> </tr> <tr> <td>센서9</td> <td>33.0 %</td> <td>38.1 %</td> <td>57.9 %</td> <td>45.6 %</td> </tr> </tbody> </table> | 깊이 | 10cm | 20cm | 30cm | 40cm | 센서1 | 33.0 % | 38.1 % | 57.9 % | 45.6 % | 센서2 | 7.7 % | 16.0 % | 26.7 % | 35.1 % | 센서3 | 7.7 % | 16.0 % | 26.7 % | 35.1 % | 센서4 | 10.1 % | 29.1 % | 32.1 % | 34.1 % | 센서5 | 10.1 % | 29.1 % | 32.1 % | 34.1 % | 센서6 | 15.7 % | 24.7 % | 35.6 % | 35.3 % | 센서7 | 28.6 % | 36.2 % | 21.3 % | 31.6 % | 센서8 | 33.1 % | 46.7 % | 43.6 % | 38.3 % | 센서9 | 33.0 % | 38.1 % | 57.9 % | 45.6 % |
| 깊이 | 10cm | 20cm | 30cm | 40cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 센서1 | 33.0 % | 38.1 % | 57.9 % | 45.6 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 센서2 | 7.7 % | 16.0 % | 26.7 % | 35.1 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 센서3 | 7.7 % | 16.0 % | 26.7 % | 35.1 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 센서4 | 10.1 % | 29.1 % | 32.1 % | 34.1 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 센서5 | 10.1 % | 29.1 % | 32.1 % | 34.1 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 센서6 | 15.7 % | 24.7 % | 35.6 % | 35.3 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 센서7 | 28.6 % | 36.2 % | 21.3 % | 31.6 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 센서8 | 33.1 % | 46.7 % | 43.6 % | 38.3 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 센서9 | 33.0 % | 38.1 % | 57.9 % | 45.6 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 화면설명 | <p>각 각의 대조군의 토양수분 센서의 수분 값을 한 눈에 볼 수 있는 화면이다.</p> <p>근근역이라고 생각되는 깊이 값의 평균으로 제어를 할 수 있으며 수동으로도 스프링클러를 작동 하여 수분 값을 조절할 수 있다.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |




제5절 스마트 토양수분 제어시스템 적용성 분석

1. 작물 생육평가

1.1 감자의 생육평가

본 연구에서 테스트베드에 식재한 감자 품종은 수미이며 2017년과 2018년 감자에 대한 생육평가를 수행하였다. 국립농산물품질관리원에서 제공하는 농산물표준규격정보에 의하면 감자의 등급을 특, 상, 보통으로 구분하며 각각의 기준은 다음과 같다.

표 2.5.1 감자의 등급기준

| 구분 | 특 | 상 | 보통 |
|----|---|--|---|
| 기준 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 무게가 「L~3L」 인 것 ○ 무게가 다른 것이 10% 이하 ○ 이물질 제거 정도 뛰어남 ○ 가벼운 결점과가 5% 이하 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 무게가 「S~3L」 인 것 ○ 무게가 다른 것이 20% 이하 ○ 이물질 제거 정도 양호함 ○ 가벼운 결점과가 10% 이하 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 특, 상에 미달하는 것 ○ 결점과가 1/4 이하인 것 (단, 부패, 변질과는 포함할 수 없음) |
| 상태 |  |  |  |

이상의 특, 상, 보통의 기준은 결점과와 포장의 상태를 제외하면 감자의 무게로 구분되며 감자의 무게기준은 다음과 같다. 따라서 본 연구에서는 각 대조구인 구역1, 구역2, 구역3에서의 감자의 중량과 크기를 기준으로 생육평가를 수행하였다.

표 2.5.2 감자의 중량기준

| 구분 \ 호칭 | 3L | 2L | L | M | S | 2S |
|-----------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 1개의 중량(g) | 280 이상 | 220 이상 | 160 이상 | 100 이상 | 40 이상 | 40 미만 |



그림 2.5.1 테스트베드 감자 생육평가



그림 2.5.2 테스트베드 감자파종(2017년 3월 9일)



그림 2.5.3 테스트베드 감자생육 현황(2017년 4월 12일)



그림 2.5.4 테스트베드 감자생육 현황(2017년 4월 21일)

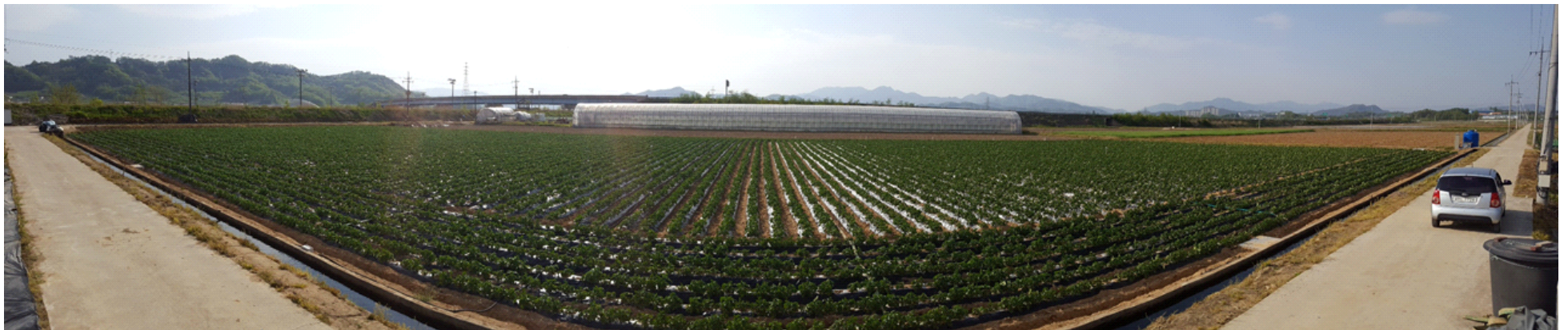


그림 2.5.5 테스트베드 감자생육 현황(2017년 4월 28일)



그림 2.5.6 테스트베드 감자생육 현황(2017년 5월 23일)



그림 2.5.7 테스트베드 감자생육 현황(2017년 6월 19일)



그림 2.5.8 테스트베드 감자생육 현황(2018년 3월 16일)



그림 2.5.9 테스트베드 감자생육 현황(2018년 3월 26일)



그림 2.5.10 테스트베드 감자생육 현황(2018년 5월 11일)



그림 2.5.11 테스트베드 감자생육 현황(2018년 5월 30일)



그림 2.5.12 테스트베드 감자생육 현황(2018년 6월 18일)

다음은 테스트베드 각 구역에서의 감자의 생육결과를 나타낸다.

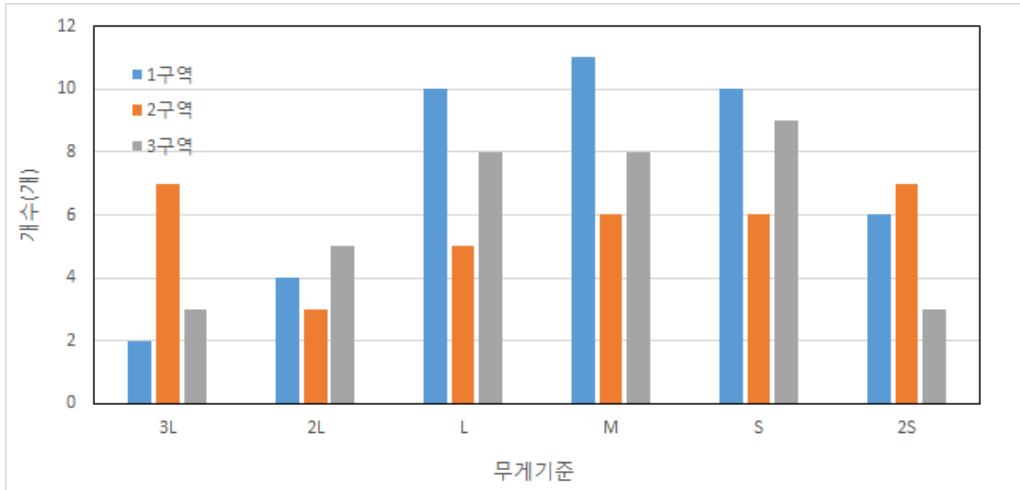


그림 2.5.13 2017년 테스트베드 대조구별 감자 중량등급 분포

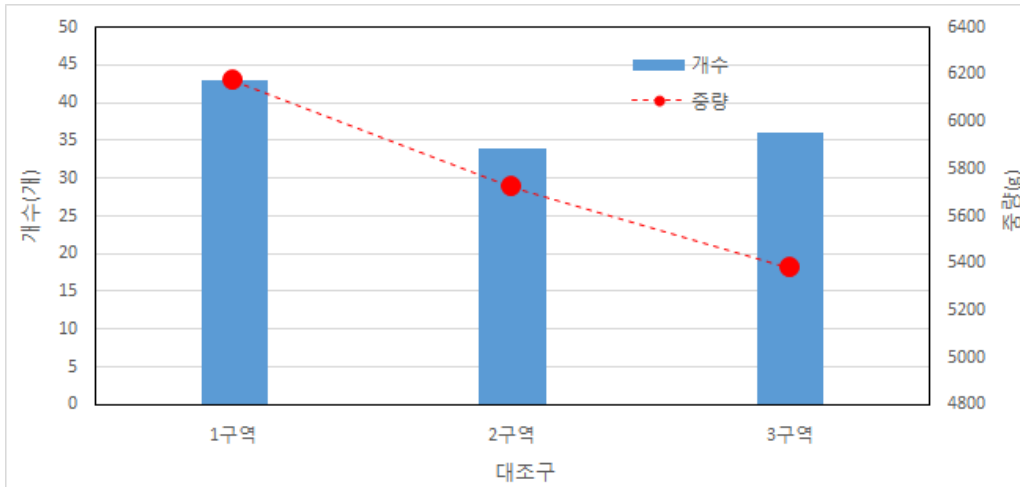


그림 2.5.14 2017년 테스트베드 대조구별 감자 중량 및 개수 현황

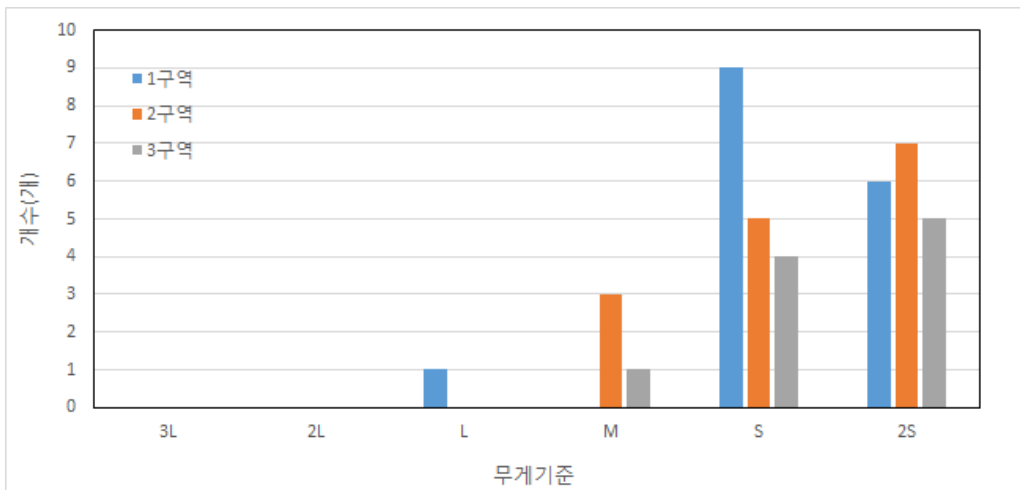


그림 2.5.15 2018년 테스트베드 대조구별 감자 중량등급 분포

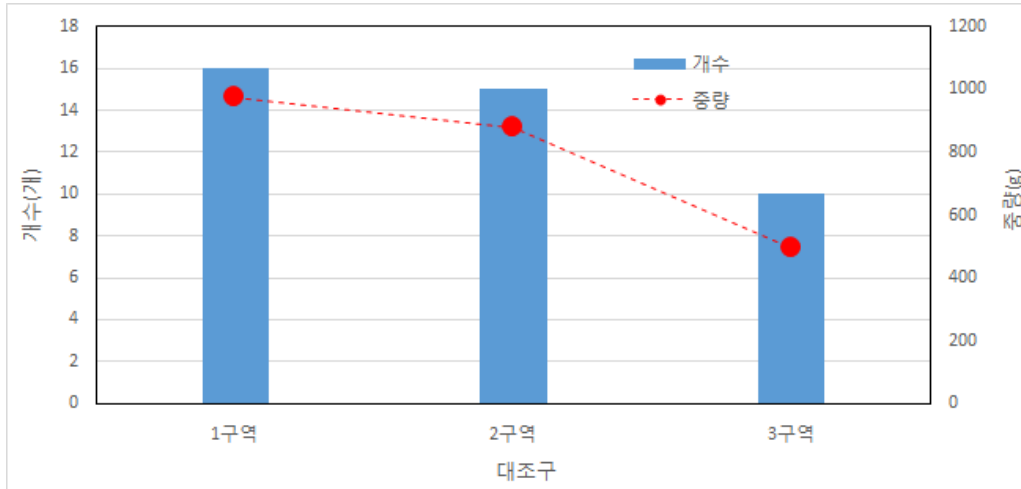


그림 2.5.16 2018년 테스트베드 대조구별 감자 중량 및 개수 현황

2017년의 경우 지하배수를 수행한 구역 1과 2에서 중량이 가장 크고 총 개수가 많이 생산된 것으로 나타났다. 지하배수를 수행하지 않은 구역3의 경우 3L등급의 감자는 많이 수확되었으나 전체적인 중량과 생산개수는 작은 것으로 나타났다. 2018년의 경우 2017년에 비해 전체적으로 감자 수확량이 매우 작게 나타났다 감자 파종이후 집중된 강우로 인한 영향이 큰 것으로 판단된다. 이상의 감자 수확량을 비교해보면 지하배수를 시행하고 관개에 의한 토양수분관리를 수행하는 경우, 즉 1구역이 3구역에 비해 2017년에는 15%, 2018년에는 95%의 수확량 증가가 있는 것으로 나타났다.

1.2 콩의 생육평가

본 연구에서 테스트베드에서 감자 수확 후 파종한 작물은 콩이며 2017년과 2018년에 대한 생육평가를 수행하였다. 콩의 파종부터 현재까지 테스트베드의 생육현황은 다음 그림과 같다. 수확된 콩 중량의 경우 대조구 2와 3의 차이는 크지 않으나 대조구 1의 경우 약 10.0%의 수확량 증가가 발생한 것으로 나타났다.

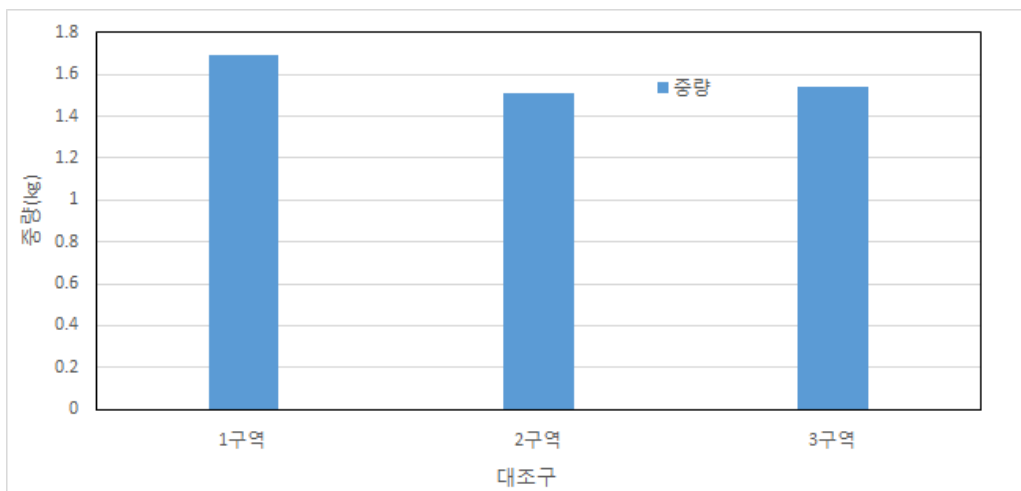


그림 2.5.17 2017년 테스트베드 대조구별 콩 중량



그림 2.5.18 테스트베드 콩 파종(2017년 6월 23일)



그림 2.5.19 테스트베드 콩 생육 현황(2017년 7월 18일)



그림 2.5.20 테스트베드 콩 생육 현황(2017년 8월 3일)



그림 2.5.21 테스트베드 콩 생육 현황(2017년 9월 18일)

2. 토양수분 제어에 따른 경제성 평가

2.1 테스트베드 작부체계의 소득분석

본 연구에서는 스마트 토양수분제어를 실시하는 경우에 대한 투입비용과 수확량 증가에 따른 소득증대 추정결과를 이용한 경제성 평가를 수행하였다.

각 작물에 대한 수량, 총수입, 경영비, 소득은 2014, 2015, 2016년의 농축산물 소득자료의 평균을 이용하였다²⁾. 일반적인 작부체계는 벼 단일재배에 비하여 120-340%의 소득증대를 기대할 수 있고 본 연구의 작부체계인 감자+콩 작부체계의 경우는 244.4%의 소득증대를 기대할 수 있을 것으로 나타났다.

표 2.5.3 주요 작부체계에 따른 소득분석

| 작부 체계 | 구분 | 수량 (kg) | 총수입 (원) | 경영비 (원) | 소득 (원) | 소득률 (%) | 쌀소득 대비 (%) |
|---------|------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|------------|
| 겉보리 +벼 | 벼 | 535 | 969,386 | 434,142 | 535,243 | 54.9 | 158.3 |
| | 겉보리 | 436 | 560,719 | 248,645 | 312,074 | 55.6 | |
| | 합 | 971 | 1,530,105 | 682,787 | 847,317 | 55.4 | |
| 쌀보리 +벼 | 벼 | 535 | 969,386 | 434,142 | 535,243 | 54.9 | 137.3 |
| | 쌀보리 | 375 | 431,006 | 231,610 | 199,396 | 45.3 | |
| | 합 | 910 | 1,400,392 | 665,752 | 734,640 | 52.5 | |
| 콩+밀 | 콩 | 175 | 687,501 | 237,704 | 449,797 | 65.0 | 124.7 |
| | 밀 | 365 | 430,183 | 212,492 | 217,691 | 50.7 | |
| | 합 | 540 | 1,117,685 | 450,196 | 667,488 | 59.7 | |
| 콩+겉보리 | 콩 | 175 | 687,501 | 237,704 | 449,797 | 65.0 | 142.3 |
| | 겉보리 | 436 | 560,719 | 248,645 | 312,074 | 55.6 | |
| | 합 | 611 | 1,248,220 | 486,349 | 761,871 | 61.0 | |
| 밀+가을배추 | 밀 | 365 | 430,183 | 212,492 | 217,691 | 50.7 | 346.9 |
| | 가을배추 | 6,899 | 2,526,455 | 887,252 | 1,639,203 | 64.0 | |
| | 합 | 7,264 | 2,956,638 | 1,099,744 | 1,856,895 | 62.8 | |
| 겉보리+가을무 | 겉보리 | 436 | 560,719 | 248,645 | 312,074 | 55.6 | 333.3 |
| | 가을무 | 5,519 | 2,350,644 | 878,995 | 1,471,650 | 61.5 | |
| | 합 | 5,955 | 2,911,363 | 1,127,639 | 1,783,723 | 61.3 | |
| 밀+감자 | 밀 | 365 | 430,183 | 212,492 | 217,691 | 50.7 | 201.1 |
| | 감자 | 1,655 | 1,997,534 | 1,138,974 | 858,560 | 42.8 | |
| | 합 | 2,020 | 2,427,717 | 1,351,466 | 1,076,251 | 44.3 | |
| 콩+감자 | 콩 | 175 | 687,501 | 237,704 | 449,797 | 65.0 | 244.4 |
| | 감자 | 1,655 | 1,997,534 | 1,138,974 | 858,560 | 43.0 | |
| | 합 | 1,829 | 2,685,035 | 1,376,678 | 1,308,357 | 48.7 | |

2) 농축산물 소득자료집, 2014, 2015, 2016, 농촌진흥청
밀 소득자료는 경남 소득자료

2.2 스마트 토양수분 제어 구축비용

가. 지하배수 시스템

지하배수 시스템 구축비용은 본 연구과제에서 테스트베드를 구축하면서 실제 투입한 비용보다 과거 관련 연구에서 추정된 비용을 사용하였다. 한국농어촌연구원(2018)에서는 ‘논에서의 타작물 재배를 위한 생산기반 개선기술 개발연구’에서 지하암거배수 시스템의 구축비용에 대해서 제시한 바 있다. 본 연구에서 구축한 테스트베드에 적합하게 지하암거배수 시스템의 구축비용을 정리하면 다음과 같다.

표 2.5.4 테스트베드의 지하암거배수 개략공사비 요약

| 구역 | 흡수거 (d100mm 유공관) (m) | 집수거 (d200mm pe) (m) | 집수정+sump (개소) |
|------|----------------------------|---------------------------|------------------|
| ① 구역 | 700 | 100 | 1 |
| 단가 | 19,667 | 23,021 | 1,768,292 |
| 공사비 | 13,766,900 | 2,302,100 | 1,768,292 |
| 총계 | | 17,837,292 | |

나. 스마트 관개 제어시스템

스마트 관개 제어시스템의 경우 비용 산출에 있어서는 HMI 프로그램을 포함한 기본 서버 구축비용과 Model Based Mode에서 필요로 하는 모델 구축비용 및 데이터 통신 비용 등은 제외하고 실제 대상지에 소요되는 비용으로 산출하였다. 따라서 관개 제어 Mode는 ON/OFF Mode 및 Sensor Based Mode에 대하여 비용을 산출하였다. 현재 산출한 비용은 설치업체의 이윤 및 관리비용 등을 제외하였다.

표 2.3.5 스마트 관개 제어시스템 구축비용

| 구분 | 내용 | 필요 시스템 | 계 |
|---------------------------------------|----------------|-----------|------------|
| ON/OFF Mode | 현장 제어함 | 5,000,000 | 7,100,000 |
| | 통신모듈 | 500,000 | |
| | Application | 100,000 | |
| | 현장설치비 | 1,500,000 | |
| Sensor Based Mode Model Based Mode | 현장 제어함 | 5,000,000 | 12,500,000 |
| | 통신모듈 | 1,000,000 | |
| | Application | 100,000 | |
| | 일체형 RTU(센서 포함) | 4,600,000 | |
| | 현장설치비 | 1,800,000 | |

2.3 스마트 토양수분 제어 구축에 따른 소득변화 추정

가. ON/OFF Mode 관개시스템 구축에 따른 소득변화 및 경제성

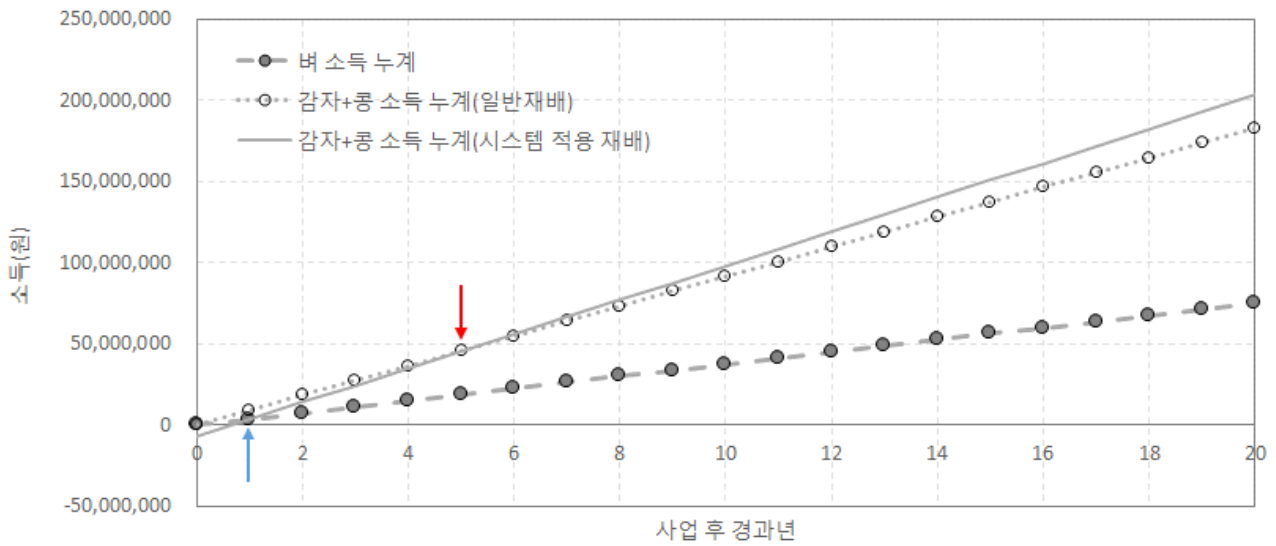


그림 2.5.22 ON/OFF 시스템 적용에 따른 소득변화 분석

ON/Off Mode 시스템의 경우 논에서 밭으로 전환 시 일반적인 관개시스템을 갖추는 경우 만 가정하여 분석하였다. 테스트베드 규모에서 논으로 지속적으로 사용하는 경우에 비해 감자+콩 작부의 밭농업으로 전환하는 경우 누적 소득이 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 제시한 시스템의 투입비용은 7,100,000원으로 초기 시스템에 대한 투입비용은 5년 경과 후에 환수될 수 있는 것으로 나타났다.

나. Sensor Based Mode 관개시스템 구축에 따른 소득변화 및 경제성

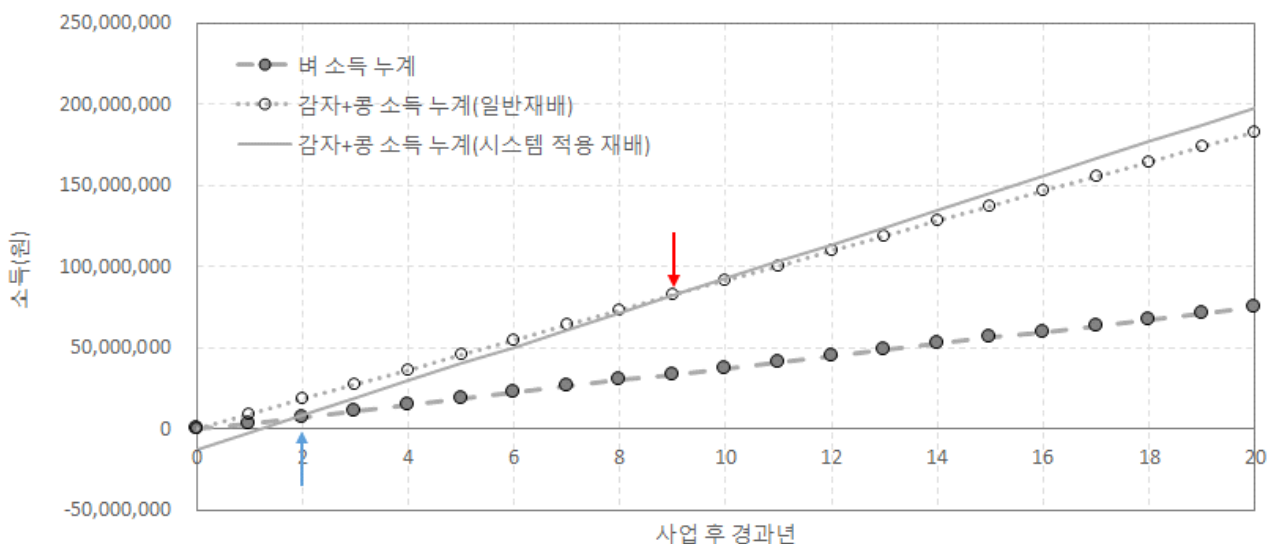


그림 2.5.23 Sensor Based 시스템 적용에 따른 소득변화 분석

Sensor Based Mode 시스템의 경우 논에서 밭으로 전환 시 센서 계측과 설정값 또는 예측값을 이용한 관개 제어시스템을 구축하는 경우를 가정한 분석이다. 테스트베드 규모에서 논으로 지속적으로 사용하는 경우에 비해 감자+콩 작부의 밭농업으로 전환하는 경우 누적 소득이 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 제시한 시스템의 투입비용은 12,500,000원으로 초기 시스템에 대한 투입비용은 시스템 구축없이 일반재배하는 경우와 비교하면 9년 경과 후에 환수될 수 있는 것으로 나타났다. 일반재배와 시스템 구축에 따른 소득의 변화에서 시스템 구축에 따른 수확량의 증가는 15%로 가정하였다. 실제 본 연구에서 감자 및 콩 생산량의 평균적 증가 및 개량되지 않았으나 노동력의 절감에 따른 경영비의 감소효과 등을 고려하면 과대한 가정은 아닌 것으로 판단하였다.

다. 관개시스템 및 지하암거배수 구축에 따른 소득변화 및 경제성

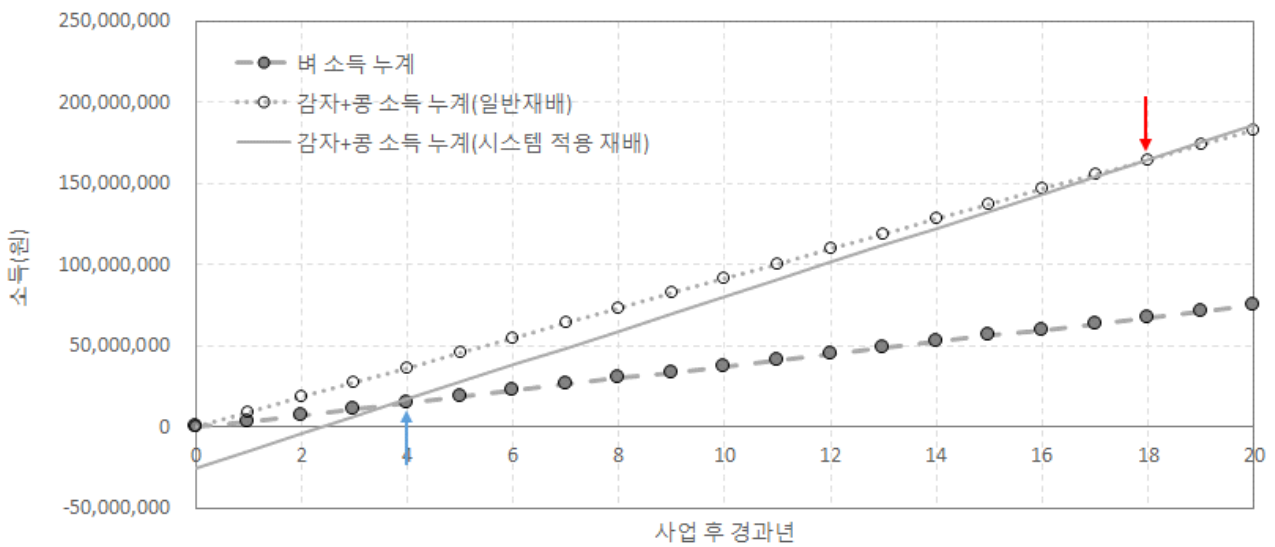


그림 2.5.24 ON/OFF 시스템 및 지하암거배수 적용에 따른 소득변화 분석

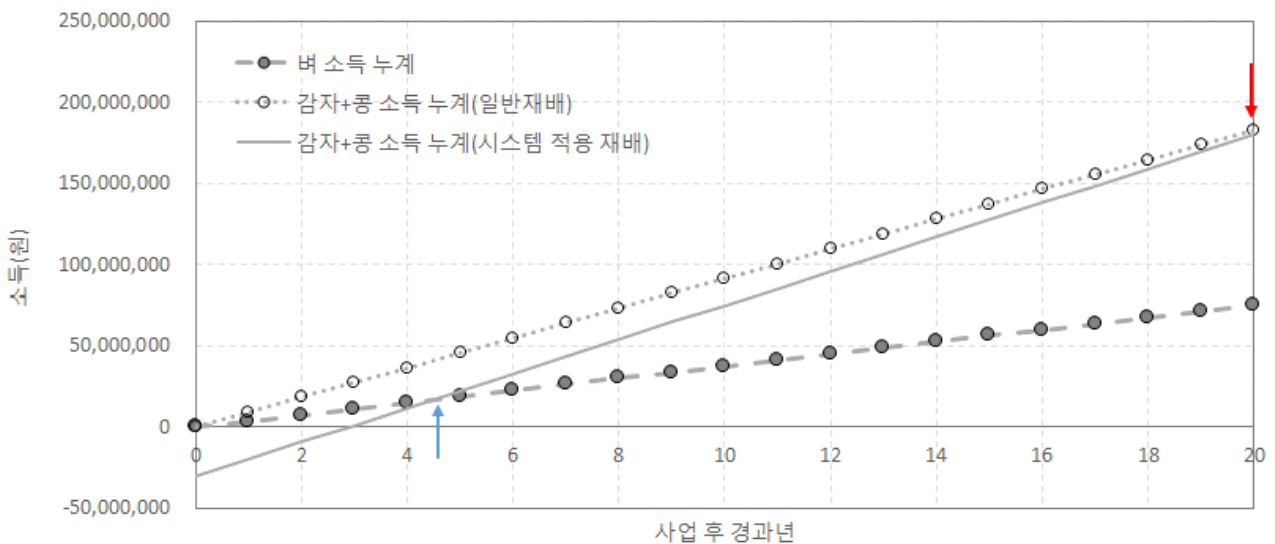


그림 2.5.25 Sensor Based 시스템 및 지하암거배수 적용에 따른 소득변화 분석

스마트 토양수분 관개시스템과 지하암거배수 시스템을 함께 구축하는 경우에는 시스템 구축없이 일반재배하는 경우와 비교하면 ON/OFF Mode의 경우 18년, Sensor Based Mode의 경우 20년 이상 경과 후에 환수될 수 있는 것으로 나타났다. 단지 지하암거배수의 경우 농업인 개인사업의 영역으로 포함할 수 없는 경우가 많으며 일부 배수개선사업 등 공공영역에서 부담할 부분이 있을 수 있는 것을 고려하면 본 연구에서 제시하고 있는 스마트 토양수분 관리에 의한 수확량 증가 및 노동력의 감소 등 다양한 영역에서 경제성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구개발의 결과인 스마트 토양수분 제어시스템을 개별 농가에 보급하기보다 들녘단위의 농업경영체 및 협동조합 등의 공동영농체에 보급하거나, 또는 여러 필지 단위의 네트워크를 형성하는 경우에는 상기한 초기 구축비용을 참여하는 필지의 수 만큼 줄일 수 있으므로 현재 분석된 수준보다 매우 경제성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

제6절 요약 및 결론

본 연구에서는 쌀의 과잉 생산과 증가하는 밭농업 수요 및 농민의 고령화에 대응하기 위하여 ICT 기술을 융합한 농지 범용화기술 개발을 목표로하였다. 본 연구는 일부 온실, 과수 및 축산 분야에 집중된 스마트 농업기술을 노지에 적용하고 실용화하기 위한 연구로 ① 범용농지 적합형 토양수분 관리 기술과 ② 무선통신을 활용한 현장 계측 및 제어기술을 융합하고 ③ 스마트 절수형 토양수분환경 제어시스템 및 어플리케이션을 개발하고자 하였다. 전체 3개년의 연구개발 기간의 연구개발 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 농지범용화 현황 및 적지분석

농지범용화 기술은 일차적으로 논을 밭으로 만드는 기술이며 그에 적합한 관개 및 배수기술을 접목하여 다시 밭에서 논으로 환원이 가능하게 하는 기술이다. 농지의 범용화가 아닌 이러한 관개 및 배수기술은 많은 시도가 있었으며 이와 관련된 사례 및 기술을 정리하였다.

일본의 경우 농지범용화 대상 농지가 2012년 107만ha로 지속적인 사업을 수행하고 있으며 FOEAS, SPIDI 시스템 등의 관련 기술개발이 진행되었다. 본 연구에서는 범용농지에 적용할 수 있는 관개 및 배수기술 개발을 위하여 살수관개 설계기술 및 지하암거 설계기술에 대하여 고찰하였다. 이러한 기술은 본 연구에서 개발하고자 하는 자동제어 기술과 접목되어야 하므로 이러한 측면에서 적용성을 고찰하였다.

국내의 범용농지로 개발이 가능한 대상지를 발굴하기 위하여 토지피복도 및 정밀토양도를 분석하여 전국단위에서 농지범용화 대상지에 대한 입지분석을 수행하였다. 전국 시도별 논밭의 배수등급을 구분하고 농지범용화 사업의 대상지로서의 가능성을 분석하였다. 또한 경북 상주시 공검면 오태저수지 하류 일대에 대한 조사를 통하여 본 연구에서 활용할 수 있는 테스트베드를 선정하였다. 테스트베드 대상지는 농지범용화 사업의 일환으로 배수개선사업이 진행 중인 곳으로 본 연구결과를 적용하여 비교분석을 수행하는 데 최적의 장소로 판단하였다. 대상지에 대한 현황 및 토양통 분석을 수행하고 테스트베드의 대조구 설계, 관개 및 배수시스템 및 모니터링 계획을 수립하였다.

나. 스마트 토양수분제어 테스트베드 구축

본 연구에서 개발하는 시스템을 적용하기 위한 테스트베드를 경상북도 상주시 함창읍 태봉리에 구축하였다. 테스트베드는 스프링클러 관개시스템과 지하암거 배수시스템 및 토양수분 제어시스템으로 구성하였다. 테스트베드는 시스템의 적용에 따른 작물의 생육 등 효과를 검증하기 위하여 3개의 대조구로 구성하였으며 각 대조구는 전체시스템 적용, 지하배수 시스템 적용, 시스템 미적용 구역으로 구분하였다.

관개시스템은 전체 50개의 스프링클러를 이용하였으며 각 구역에 적합한 관개시나리오를 적용할 수 있도록 시스템을 구축하였으며 지하배수 시스템은 토양특성을 반영한 설계를 통하여 10m 간격으로 70cm 심도에 매설하였다. 제어시스템은 본 연구에서 개발한 관개 및 제어시스템을 현장 및 서버에 구축하였다.

다. 스마트 토양수분 제어기술 개발

토양수분을 제어하기 위한 토양수분의 범위를 결정하기 위한 방법론을 제시하였으며 본 연구의 시스템을 적용하기 위한 테스트베드의 최적토양수분범위를 제시하였다. 본 연구에서 개발하는 토양수분제어 시스템은 관개와 지하배수 시스템으로 구성되며 토양수분 센서와 연동하여 제어하는 시스템으로 관개 및 지하배수시스템의 제어시나리오를 제시하였다.

스프링클러 관개 제어는 시스템의 적용성 확대를 위해 3가지 방식으로 개발 및 제시하였다. ON/OFF Mode는 기존의 관행적 관개방식을 현장 및 애플리케이션을 통한 원격 방식으로 제어할 수 있도록 유·무선 제어가 가능한 방식으로 개발하였다. Sensor Based Mode는 센서에 의해 계측된 토양수분 값과 입력된 관개시작 토양수분과 관개시간을 이용하는 토양수분 제어방식으로 제시하였다. 토양수분 계측값이 생장저해수분점에 도달하면 관개를 시작하고 관개시간은 관개에 의해 토양수분이 포장용수량을 넘지 않도록 관리하는 것을 목표로 하였다. 현장에서 생장저해수분점에 도달하면 관개를 시작하는 것이 일반적일 수 있으나 본 연구에서는 1일 토양수분의 감소량, 관개 시작 후 토양수분의 상승 시작시간을 고려하고 최적토양수분을 고려하여 관개시작은 토양수분과 관개량을 제시하였다.

Model Based Mode는 관개 시작의 결정에 향후 강우발생 여부를 포함하는 것으로 토양수분의 예측모델을 활용하는 것이다. 현재 토양수분의 값을 계측센서로 부터 수신하고 일정 시간 이후의 강우발생 여부를 포함하여 모델에 의해 토양수분을 예측한 후 관개시작 여부와 관개시간을 결정하는 방식으로 제시하였다. Model Based Mode의 토양수분예측모형을 개발하여 제시하였다.

또한 지하배수 시스템은 토양수분 센서의 최하부 또는 별도의 심도로 매설된 센서의 계측값이 포화된 값이면 지하배수를 실시하는 것으로 시나리오를 제시하였다.

라. 스마트 토양수분 제어시스템 개발

상기한 제어기술과 모형을 이용한 현장 제어시스템을 개발하였다. 시스템은 센서와 제어반과의 환경, 데이터 신뢰성, 소요비용 등을 고려하여 층위별 토양수분 센서와 현장서버(SERVER) 기능을 하는 제어반으로 데이터를 전송하도록 개발하였다. 지그비 모듈은 2.4GHz RF 모듈로 Zeebee 스택이 탑재되어 있으며 데이터 손실을 방지하기 위하여 유선과 무선의 결합으로 2중화로 구축하였고 향후 적용에 있어서 별도로 적용할 수 있도록 하였다. 제어반의 MAIN화면의 터치패널은 토양수분 제어기술을 반영하기 위하여 ①트렌드 화면 전환 버튼, ②경보감시 화면 전환 버튼, ③데이터 수집 버튼, ④센서별 수분량 감시 화면, ⑤구역별 수분감시화면, ⑥수분설정버튼, ⑦ 펌프ON/OFF버튼 ⑧스프링클러 가동시간 설정 메뉴로 구성하였고 향후 실용화 상품화를 위하여 전체 시스템의 도면을 제시하였다. 또한 전체 관리자의 운영프로그램과 영농인이 직접 계측값의 확인 및 관개/배수 시스템을 제어할 수 있는 애플리케이션을 개발하여 제시하였다.

마. 스마트 토양수분제어 테스트베드 운영

본 연구에서 제시된 토양수분 제어시스템은 필지의 용수확보 지표배수 등 기본적인 생산기반시설의 확보를 염두에 두었으며 테스트베드 또한 이러한 조건을 충족하는 곳으로 선정

하였다. 향후 본 시스템의 적용을 위해 이러한 부분이 고려되어야 할 것이다.

경험적인 영농에 의한 스프링클러 관개 및 지표배수 등에 의한 토양수분 및 지하수위의 변동에 대한 모니터링을 수행하여 토양수분 제어의 필요성을 확인하고, 모니터링 과정에서 본 연구에서 구축한 시스템의 작동에 대하여 검증하고자 하였다. 또한 테스트베드에서 재배한 작물인 감자와 콩의 작물생육에 본 연구에서 구축한 관개 및 배수시스템 중에서 1차적으로 배수시스템의 효과에 의한 영향을 분석하였고 대조구별 작물의 수확량을 조사하여 본 연구에서 개발된 시스템의 적용성을 분석하였다. 스마트 토양수분제어를 실시하는 경우에 대한 투입비용과 수확량 증가에 따른 소득증대 추정결과를 이용한 경제성 평가를 수행하였다. 전체적으로 논에서 밭으로 전환하는 경우 누적 소득이 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 제시한 관개 시스템의 투입비용은 일반재배하는 경우와 비교하면 10년 이내에 환수될 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서 작물 생산량의 평균적 증가 및 개량되지 않았으나 노동력의 절감에 따른 경영비의 감소효과 등을 고려하면 향후 적용성이 클 것으로 판단하였다.

제3장 목표달성도 및 관련 분야 기여도

제1절 목표 및 달성도

| 세부연구목표 (연구계획서상의 목표) | 자체평가 | 달성도 (%) |
|----------------------------|--|------------|
| ○ 무선통신 일체형 토양수분 센서-통신 노드 | ○ 설치 및 철거가 용이한 무선통신이 가능한 센서-통신 일체형 토양수분측정장치를 개발하였다. | 100 |
| ○ 스마트 관개 및 배수 제어시스템 | ○ 선택적 용수공급 및 작물생육에 적합한 토양수분 유지를 위한 맞춤형 토양수분 제어시스템을 개발하였다. ○ 범용농지의 토양수분 유지를 위한 배수 제어시스템을 개발하였다. | 100 |
| ○ 토양수분 제어 스마트 어플리케이션 | ○ 현장에서의 토양수분 모니터링 및 용수공급 제어를 위한 어플리케이션을 개발하였다. | 100 |
| ○ 토양수분 제어 테스트베드 관개 및 배수 설계 | ○ 연구결과의 도출 및 적용성 분석을 위한 테스트베드 설계 시 관개 및 배수관련 주요 설계기법을 검토하였으며 테스트베드에 적용하였다. ○ 운영과정에서 문제점은 제기되지 않았으며 향후 시스템의 활용에 있어 설계기법으로 적용이 가능할 것으로 판단된다. | 100 |
| ○ 스마트 토양수분 제어를 위한 토양수분 예측 | ○ 본 연구에서 토양수분의 제어는 3가지 모드로 제공되며 각 모드에 적합한 토양수분 제어 방법을 제시하였다. ○ 기상예측자료 및 토양수분모델을 이용한 토양수분제어를 위한 제어기술을 제시하였으며 토양수분모델은 미래의 강우 가능성과 토양수분예측을 통해 현재 관개 여부를 판단하도록 구축하였다. | 100 |
| ○ 스마트 토양수분 제어를 위한 운영기술 | ○ 스마트 토양수분 제어를 위한 운영기술은 기본적으로 토양수분 제어를 위한 3가지 모드를 기반으로 제시하였다. ○ 현장 및 서버시스템은 각 운영모드에 적합하게 농업인이 활용할 수 있도록 최소한의 설정으로 작동하도록 구축하였다. | 100 |
| 합계 | | 100 |

제2절 관련분야 기여도

1. 연구분야 별 기여도

1.1 스마트 토양수분 제어 및 운영기술

본 연구에서 제시한 토양수분의 제어기술은 농지에서의 센서계측값을 이용하여 직접 토양수분을 제어할 수 있으며 이를 통하여 경험적 관계에 따른 토양수분의 과소/과다의 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 미래 강우의 예측결과를 이용하여 토양수분을 예측하여 관개를 실시하는 경우 과대한 관개량으로 인한 피해를 저감시킬 수 있으며 또한 관개용수의 절감에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

1.2 스마트 토양수분 관리시스템

설치 및 철거가 용이한 무선통신이 가능한 센서-통신 일체형 토양수분측정장치를 개발로 노지에서의 스마트농업의 기초적인 환경을 조성할 수 있을 것으로 보이며, 선택적 용수공급 및 작물생육에 적합한 토양수분 유지를 위한 맞춤형 토양수분 제어시스템 개발로 밭농업에서 영농활동의 지원 및 밭농업으로의 전환을 유도하는 수단이 될 수 있을 것으로 보인다. 또한 범용농지로 활용할 경우 배수제어 시스템은 논으로 회귀를 용이하게 하는 수단으로 활용할 수 있다. 또한 농업인의 토양수분 제어 활동을 지원하는 토양수분 모니터링 및 용수공급용 어플리케이션은 물관리에서의 노동력 절감효과가 기대되며 귀농·귀촌인에 대한 영농기술 지원에 기여할 것으로 보인다.

2. 기대성과

1.1 기술적 측면

스마트 농업에 대한 많은 지원 및 투자, 기술개발이 진행되고 일부는 농업현장에서 성공적으로 적용되고 있으나 노지 재배 및 농지의 다각적 활용을 위한 기술개발, 특히 현장적용 기술에 대한 투자는 미미한 실정이다. 본 연구를 통한 스마트 토양수분관리 기술은 노지에서의 스마트 농업에 대한 시작점으로써 노동력의 절감 및 생산성 향상에 기여할 것으로 예상된다. 센서, 통신, 관리 및 제어기기를 모듈화하여 제공함으로써 노지 스마트 농업에 대한 경쟁력을 확보할 수 있으며, 개발된 결과를 현장에 곧바로 적용할 수 있어 사업화가 용이할 것으로 예상되며 농지에 대한 범용화기술을 확보하여 농지에 대한 정책적 탄력성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

맞춤형 저비용의 고효율 물관리 시스템으로 수자원 절약 차원에서 기여하는 바가 클 것으로 판단되며, 기후변화에 따른 침수 및 가뭄에 대한 농업기술 측면에서의 대응방안으로 이바지 할 것으로 예상된다.

1.2 경제적·산업적 측면

농업의 노동생산력은 고령화에 따라 지속적으로 낮아질 것으로 판단되며, 그로 인해 물관

리 및 상대적으로 노동강도가 높은 노지 밭농업의 기피현상이 높아질 것으로 예상되지만 본 기술을 보급함으로써 이러한 문제점을 상당부분 해소한다면 농업의 균형발전과 농작물 수급의 균형에 크게 기여할 것으로 판단된다.

시설 원예 등 비교적 투자환경이 양호한 농업분야 외에 대규모 노지재배가 가능하기 위해서는 농지의 범용적 활용을 통한 밭작물의 재배가 필요하지만 이러한 부분에 대한 기술개발 및 적용기술의 발전은 미미한 실정으로 본 연구개발을 통하여 대규모 밭 주산지 개발 등 경제/산업적 효용성이 있을 것으로 판단된다. 소규모 저수지의 노후화 등 대체수자원 개발에 대한 요구에 절수형 관개 시스템을 적용함으로써 수자원 개발의 탄력성을 확보할 수 있으며, 뿐만 아니라 농가소득 증가 등 간접효과를 고려할 경우 사업화로 인한 효과는 직접 효과의 상응하는 정도로 나타날 것으로 예상된다.

제4장 연구결과의 활용 계획

제1절 활용계획 일반사항

- 논농업에서 밭농업으로의 전환에 대한 농업인의 물관리 경험 부족에 따른 어려움, 귀농·귀촌인의 영농경험부족에 따른 어려움 해결을 위한 지원수단
- 농지범용화사업에서 농업인 참여의 유도를 위한 지원수단으로서의 활용
- 부적절한 관개 및 지하배수 물관리로 인한 농작물 피해저감을 통한 생산량 증대와 그에 따른 농가소득 증대의 수단
- 상대적으로 발전속도가 느린 스마트 노지농업의 출발점으로서의 활용

제2절 연구 기대성과 및 활용방안

1. 주요 지원방안

- 농지의 최적활용을 위한 농지범용화 사업의 지원
- 습해 및 가뭄피해에 의한 영농손실 방지
- 농업인 고령화에 따른 스마트 농법 지원
- 귀농 귀촌인에 대한 농업기술 지원

2. 연구결과물의 생산 및 교육

- 농업용도에 맞는 절수형 스마트 토양수분관리 기술 개발
- 노지 재배용 스마트 물관리 기술 제공
- 센싱 모듈, 통신 모듈, 물관리 제어 모듈의 별도 제공
- 주요 작물에 대한 최적 토양수분관리 시나리오 제공
- 특허 및 소프트웨어 출원/등록
- 제품의 신속한 제작 능력 강화와 제품 설치 및 교육을 위한 신규인력 확보 및 교육

3. 주요 수요처 마케팅 계획

| | |
|--------|---|
| 수요 예상처 | <ul style="list-style-type: none">• 전국 시/군/구 등 기초지자체• 관련 정부기관 및 공공기관(농림축산식품부, 한국농어촌공사, 농촌진흥청)• 들녘공동체, 영농조합 등 영농공동체• 배수개선 등 농지범용화를 고려한 지자체의 사업지구• 관련 연구 대학 및 연구소 (100여개) |
|--------|---|

- 본 연구과제의 제어시스템은 개별농가에 보급할 수 있으나 영농 공동체나 사업지구 포함되는 경우 시스템의 효율성이나 경제성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 보여 사업

화 초기에는 이러한 분야에 홍보 및 기술소개를 집중함

- 국내외 다양한 농업 전시회 및 박람회에 참가하여, 새로운 시스템 홍보를 통해 각 지자체 기술 이전 및 인식시킴
- 각종 학회 및 세미나 참가하여, 논문 및 학술발표를 통해 관계자들에게 홍보하고, 국내외 판로를 확보함

<붙임> 참고문헌

1. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith, 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization (FAO)
1. American Society of Agricultural Engineers(ASAE), 1998a, Design of subsurface drains in humid areas, EP480 MAR98. St. Joseph, MI:Author
2. American Society of Agricultural Engineers(ASAE), 1998b, Construction of subsurface drains in humid areas, EP481 MAR98. St. Joseph, MI:Author
3. American Society of Agricultural Engineers(ASAE), 1999a, Design of agricultural drainage pumping plants, EP369.1 DEC99. St. Joseph, MI:Author
4. American Society of Agricultural Engineers(ASAE), 1999b, Design, installation and operation of water table management systems for subirrigation/controlled drainage in humid regions, EP479 DEC99. St. Joseph, MI:Author
5. American Society of Agricultural Engineers(ASAE), 2001, Design, construction and maintenance of subsurface drains in arid and semi-arid areas, EP463.1 DEC01. St. Joseph, MI:Author
6. Boonstra, J. and De Ridder, N.A., 1994, Single-well and aquifer tests. In H.P. Ritzema, ed. Drainage principles and applications, pp.341-375. 2nd edition. ILRI Publication 16. Wageningen, The Netherlands, ILRI.
7. Chossat, J.C. and Saugnac, A.M., 1985, Relation entre conductivite hydraulique et porosite de drainage mesurees par la methode du puits et des piezometres, Sci. du Sol, 1985/3
8. Delmar D. Fangmeier et. al., Soil and Water conservation Engineering, 5th Edition, Thomson DELMAR LEARNING
2. Doorenbos, J. and W.O. Pruitt, 1977. Crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization (FAO).
9. Ernst, L. F., 1975, Formula for groundwater flow in areas with subirrigation by means of open conduits with a raised water level Misc. Reprint 1978. Wageningen, the Netherlands:Institute of Land Water Management Research
10. Hooghoudt, S.B., 1940, Algemeene beschouwing van het probleem van de detailontwatering en de infiltratie door middel van parallel loopende drains, greppels, slooten en kanalen. Versl. Landbouwk. Onderz., 46(14)
1. <http://www.kubota-ci.co.jp/products/agriculture/foeas>
3. ILRI, 1972, Fieldbook for land and water management experts, Wageningen, The Netherlands
4. Kruseman, G.P. and De Ridder, N.A., 1994, Analysis and evaluation of pumping tests data, ILRI Publication 47, 2nd. Wageningen, The Netherlands, ILRI, pp. 377

5. Madramootoo, A. A., 1999, Planning and design of drainage systems, R. W. Skaggs & J. van Schilfgaarde, eds., *Agricultural Drainage*, pp 971-892
6. Muhammad, A. K and A. D. Khan, 2004, *Tile drainage manual*, Pakistan Council of Research in Water Resources, Ministry of Science and Technology, Islamabad
7. Skaggs, R. W., 1978, A water management model for shallow water table soils. Technical Report No. 134. Raleigh, N.C.: North Carolina State University, Water Resources Research Institute
8. Skaggs, R. W., 1999a, Drainage simulation models. In R. W. Skaggs & J. van Schilfgaarde, eds., *Agricultural Drainage*, pp. 469-500
9. Skaggs, R. W., 1999b, Water table management; Subirrigation and controlled drainage. In R. W. Skaggs & van Schilfgaarde, eds., *Agricultural Drainage*, pp. 695-718
10. Skaggs, R.W., 1980, DRAINMOD reference report. Method for design and evaluation of drainage-water management systems for soils with high water tables, Rep. USDA, Soil Conserv. Serv., ch. 5 and pref.
11. Stuyt, L. C. P. M, 1992b, Mineral clogging of wrapped subsurface drains installed in unstable soils : a field survey, Proc. 5th Internat. Drainage Workshop, W.F. Voltman(ed.). Lahore, Pakistan, Vol.III
12. Stuyt, L. C. P. M, 1992c, Effect of drain envelopes on the water acceptance of wrapped subsurface drains, Proc. 6th Internat. Drainage Workshop, ASAE, St. Joseph, MI, United States
13. Stuyt, L. C. P. M. 1992a, The water acceptance of wrapped subsurface drains, Ph.D. Thesis, Agric. Univ. Wageningen/DLO-Winand Staring Centre(SC-DLO), Wageningen, The Netherlands
14. Stuyt, L. C. P. M. and Oosten, A. J., 1986, A non-destructive morphological study of mineral clogging of drains, Proc. of Internat. Seminar on Land Drainage, J. Saavalainen and P. Vakkilainen(eds.). Helsinki University of Technology, Finland
15. Stuyt, L. C. P. M. and Willardson L. S., 1999, Drain envelopes, *Agricultural Drainage*, R. W. Skaggs and J. van Schilfgaarde(eds.). Agron. Monogr. 38. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, United States
16. Stuyt, L. C. P. M., 1982, Drainage envelope research in The Netherlands, Proc, 2nd Internat. Drainage Workshop. Washington, DC, pp. 106-123
17. Stuyt, L. C. P. M., W. Dierickx and J. Martinez Beltran, 2005, Materials for subsurface land drainage systems, FAO, Irrigation and Drainage Paper 60 Rev. 1
18. USBR, 1978, *Drainage Manual*, United States Department of Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO, United States
19. USBR, 1993, *Drainage Manual*, 2nd ed. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver Federal Center, Denver, CO, United States
20. USDA NRCS, 2015, *Engineering Field Handbook-Part650* chapter 19 19-56page
21. van der Ploeg, R. R., R. Horton and D. Kirkham, 1999, Steady flow to drains and wells. In R. W. Skaggs and J. van Schilfaarde, eds., *Agricultural Drainage*, pp. 213-264.

- Agronomy Monograph 38. Madison, WI:ASA, CSSA, SSSA.
22. van Schilfgaarde, J., 1963, Tile drainage design procedure for falling water tables, American Society for Civil Engineering Prodeedings, 89, (No. IR)
 23. 국토교통부, 2018, 건설공사 표준시장단가
 24. 국토교통부, 2018, 건설공사 표준품셈
 25. 김영표, 최영복, 박성미, 1997, 입지선정을 위한 GIS 활용방안 연구, 국토개발연구원.
 26. 김영화 외, 2012, 밭기반정비의 실태분석과 개발기법에 관한 연구, 농림축산식품부, 한국농어촌공사
 27. 남원호, 홍은미, 장민원, 최진용, 2014, 토양수분모형을 이용한 미래 주요 밭작물 소비수량 및 관개용수량 전망, 한국농공학회논문집 56(5): 77-87.
 28. 농림수산식품부, 2012, 농업생산기반정비사업계획설계기준-배수편
 29. 농림수산식품부, 2012, 밭기반정비 실태분석 및 개발기법에 관한 연구
 30. 농림축산식품부, 2010, 논농업 다양화 방안 연구용역 보고서
 31. 농림축산식품부, 2015, 밭농업기계화 촉진을 위한 생산기반조성 현장적용 기술 개발(I)
 32. 농림축산식품부, 2016, 귀농귀촌 실태조사
 33. 농림축산식품부, 2016, 농림축산식품 주요통계
 34. 농림축산식품부, 2016, 농지은행사업 개편을 통한 농지이용 효율화 방안 연구
 35. 농림축산식품부, 2017, 2016년 농업생산기반정비통계연보
 36. 농림축산식품부, 2018, 2018년도 농식품사업시행지침서
 37. 농어촌연구원, 2003. 제주도 밭관개 용수량 산정법 정립에 관한 연구(2), 농업기반공사
 38. 농어촌연구원, 2005. 제주도 밭관개 용수량 산정법 정립에 관한 연구, 농업기반공사
 39. 농촌진흥청, 2012, 논 재배 동계맥류/하계작물 경영성과분석 및 작부체계 모델개발에 관한 연구
 40. 농촌진흥청, 2014, 논 농업 다양화를 위한 작부체계별 경영성과 분석
 41. 농촌진흥청, 2015, 2014 농축산물소득자료집
 42. 농촌진흥청, 2015, 논농업 다양화 작부체계 적용 수익모델
 43. 농촌진흥청, 2016, 2015 농축산물소득자료집
 44. 농촌진흥청, 2017, 2016 농축산물소득자료집
 45. 서울대학교 농업개발연구소, 1990. 밭작물 소비수량 산정방법 정립 연구, 농어촌진흥공사
 46. 신용훈, 이승재, 이성학, 최진용, 2017, 고해상도 기상자료와 토양수분모형을 이용한 고추의 관개량 산정, 한국농공학회논문집 59(5): 31-40. doi.org/10.5389/KSAE.2017.59.5.031
 47. 음성군청 홈페이지: <http://www.eumseong.go.kr>
 48. 이준구, 최원우, 2016, 농지범용화로 논에서 콩, 감자, 양파 경작도 내 마음대로..., RRI 포커스, 제58호
 49. 정강호, 김대관, 장용선, 한경화, 조희래, 2015, 유효토심에 따른 우리나라 주요 밭작물의 뿌리 분포와 토양수분 변화, 2015년 한국토양비료학회 학술발표회 초록집, 117.
 50. 정기열, 2013, 밭작물 안정생산을 위한 경사지 논 암거배수 효과, 2013 작물과학원 주요 연구 성과 85
 51. 정기열, 윤을수, 박기도, 박창영, 2010, 경사지 배수불량 논에서 배수개선 효과의 지구통

- 계적 기법을 이용한 평가, 한국토양비료학회지, 53(6)
52. 토양통 설명서, 2015. 경상북도 농업기술원.
 53. 토양환경정보시스템(흙토람), 농촌진흥청, <http://soil.rda.go.kr>.
 54. 토양환경정보시스템: <http://soil.rda.go.kr/soil/index.jsp>
 55. 토지피복지도 작성지침, 2013, 환경부
 56. 통계청, 2017년 경지면적조사
 57. 통계청, 2017년 농업면적조사
 58. 한국농어촌공사 농어촌연구원, 2013, 농지은행을 통한 농지의 효율적 이용 및 관리방안
 59. 한국농어촌공사, 2015, 범용농지조성 기반기술 개발
 60. 한국농어촌공사, 2017, 논외작물재배를 위한 생산기반 개선기술 개발연구(I단계)
 61. 한국농어촌공사, 2017, 농지매입비축사업 업무지침
 62. 한국농어촌공사, 2018, 2018년 설계단가적용기준
 63. 한국농어촌공사, 2018, 2018년 표준단가표
 64. 한국농어촌공사, 2018, 농지임대수탁사업 업무지침
 65. 한국농촌경제연구원, 2009, 주요 발작물 산업의 활성화 방안
 66. 한국농촌경제연구원, 2009, 주요 발작물 산업의 활성화 방안
 67. 한국농촌경제연구원, 2017, 농업전망 2017

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.